

CROSBY HALL

RESIDENCE FOR

INTERNATIONAL HALL



UNIVERSITY WOMEN

CHEYNE WALK,
CHELSEA, S.W.3
LONDON

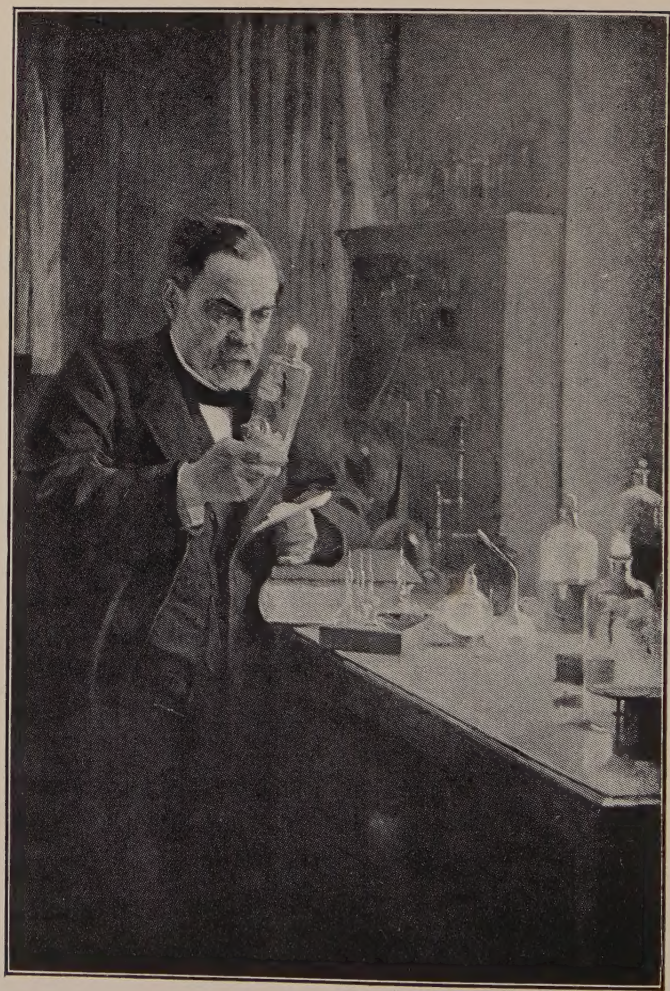
443

~~FRE~~

~~WHE~~

TEC

No Author



PASTEUR DANS SON LABORATOIRE

Heath's Modern Language Series

TECHNICAL & SCIENTIFIC FRENCH

EDITED WITH NOTES AND VOCABULARY

BY

EDWIN B. WILLIAMS, PH.D.

PROFESSOR OF ROMANIC LANGUAGES

UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

D. C. HEATH AND COMPANY

BOSTON NEW YORK CHICAGO LONDON
ATLANTA DALLAS SAN FRANCISCO

✓

COPYRIGHT, 1926,
By D. C. HEATH AND COMPANY

3 K 7

2587

PRINTED IN U.S.A.

PREFACE

IN these days when so many foreign language texts are being edited that the only legitimate complaint can arise from the burden of choosing, it seems strange to find such a dearth of texts dealing with modern scientific and engineering subjects. The inadequacy of purely literary texts to equip the student to read scientific French intelligently has led teachers in Engineering Schools throughout the country to adopt the use of scientific journals as reading material in the classroom. This method has proved unsatisfactory for various reasons, the most potent of which is perhaps the lack of suitable technical dictionaries. Thus the urgent need of a modern Scientific French Reader provided with notes and vocabulary is evident and undeniable.

Two main objects have been observed in the choice of articles for the present text:

(a) To provide a certain portion of material that should be sufficiently elementary so far as its scientific content is concerned, so that the student might concentrate his efforts on the scientific idiom.

(b) To furnish a greater amount of more difficult material on recent developments and achievements in science, engineering, invention, and industry, chosen in order to expand the student's technical vocabulary as well as for its informational value.

However, the book is not divided into the two large sections that this plan would seem at first to suggest, but rather into groups determined by the nature of the subject-matter. It will be noticed, therefore, that while degree of difficulty of language is fairly uniform throughout the book, difficulty of scientific content increases independently within each of the several groups, with the result that the last chapter of each group is usually much more difficult than any of the preceding ones of the same group.

Scientific articles, more than any other, necessitate the constant use of visual aid. Attention is therefore drawn to the fact that the student will find in the pages of this book no fewer than fifty-eight diagrams and drawings, as well as seven portraits and maps.

The articles have been chosen from a vast amount of reading extending over a number of years. With but three or four exceptions they are all copyright material. The editor wishes to express his thanks to the authors and publishers who so kindly consented to the use of their material and whose names appear at the end of their respective articles. He also wishes to thank General Gustave Ferrié, Inspector-General of Military Communications in the French Army, for his extreme kindness in furnishing the article which forms Chapter XXIII. Thanks are likewise due to Dr. J. P. Wickersham Crawford, Professor of Romanic Languages and Literatures, University of Pennsylvania, Professor Frédéric Pierre Colette, of the Carnegie Institute of Technology, Dr. John Frazer, Dean of the Towne Scientific School, University of Pennsylvania (American Exchange Professor of Applied Science to French Universities, 1922-23) and Dr. Alexander Green, of D. C. Heath and Company, for valuable suggestions in planning the book; to Professor Colette, Dr. Frazer, Dr. Harold Pender, Dean of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, Dr. Thomas D. Cope, Professor of Physics, University of Pennsylvania, and Commander J. H. Klein, Jr., U.S. Navy, Naval Air Station, Lakehurst, N. J., for indispensable assistance in determining exact English equivalents of difficult technical expressions. The editor desires to make especial acknowledgment of the constant coöperation of his wife, Leonore Rowe Williams, in the preparation of all the material and in reading the proofs.

E. B. W.

UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

October, 1925

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE	PAGE
INTRODUCTION	
I. Les Bienfaits de la Science	3
CHIMIE	
II. Antoine-Laurent Lavoisier	7
III. Notions de Chimie générale	13
IV. Nomenclature, et Fonctions chimiques	22
V. Le Soufre	28
VI. L'Industrie des Dérivés du Pétrole	35
BIOLOGIE	
VII. La Biologie	50
VIII. Les Travaux de Pasteur et leurs Conséquences industrielles	53
MÉTALLURGIE	
IX. La Géologie	57
X. La Métallurgie du Fer	61
XI. Les Fours à Coke modernes et la Distillation de la Houille	70
MATHÉMATIQUES	
XII. De l'Algèbre	80
XIII. Des Procédés de Démonstration géométrique	85

CHAPITRE	PAGE
MÉCANIQUE	
XIV. Notions de Mécanique générale	90
XV. Machine à Vapeur	98
XVI. Moteur à Explosion — Moteurs à deux Temps	108
XVII. Les Turbines hydrauliques modernes . . .	121
XVIII. Une Usine marémotrice	134

ÉLECTRICITÉ	
XIX. André-Marie Ampère	139
XX. Principes de Magnétisme et d'Induction . .	145
XXI. Moteur et Générateur électriques	161
XXII. Quelques Précisions sur les Accumulateurs électriques	168
XXIII. La Carrière et les Travaux du Général Ferrié	178
XXIV. La T. S. F.	186
XXV. Les Lampes à trois Électrodes	193
XXVI. Les nouvelles Locomotives électriques . . .	199
XXVII. L'Emploi des Commutatrices dans les Trans- ports de Force	204

GÉNIE CIVIL	
XXVIII. Ferdinand de Lesseps et le Canal de Suez .	211
XXIX. La Photographie appliquée aux Levés de Plans	216
XXX. Les Signaux électro-pneumatiques	223
XXXI. Le plus grand Pont du Monde construit en Ciment non armé	231
XXXII. Le Métropolitain de Paris	238

CHOSES DIVERSES	
XXXIII. Le Pavillon Curie de l'Institut du Radium .	252
XXXIV. La Cinématographie en Couleurs naturelles par les Procédés trichromes	258

TABLE DES MATIÈRES

vii

CHAPITRE	PAGE
XXXV. La Reproduction de la Parole au moyen du Pallophotophone	271
XXXVI. La Lumière électrique à la Maison	279
XXXVII. L'Appareil Dewoitine monté par l'Aviateur Barbot	292
XXXVIII. Le gigantesque Croiseur aérien construit par l'Allemagne pour les États-Unis	298
XXXIX. L'Automobile a conquis le Désert	308
XL. L'Industrie automobile française	311
NOTES	315
VOCABULARY	333

TECHNICAL AND SCIENTIFIC
FRENCH

TECHNICAL AND SCIENTIFIC FRENCH

INTRODUCTION

I. Les Bienfaits de la Science

Une chose évidente, d'abord, messieurs, c'est que chaque découverte de l'esprit humain correspond à un progrès moral, à un progrès de dignité pour l'universalité des hommes. Sur les monuments bâtis il y a près de trois mille ans, les monuments de Ninive découverts il y a près 5 de trente ans, vis-à-vis de Mossoul, on voit représentée la manière dont on dressait ces colosses qui décoraient ces monuments et dont vous pouvez voir quelques spécimens au musée du Louvre. Le mode de traction est d'une simplicité effrayante: des centaines d'hommes attelés et 10 tenus au cou par une corde, tiraient par la tension de tous leurs muscles le taureau colossal; à chaque dix hommes, il y en avait un préposé aux travaux qui distribuait à tort et à travers des coups de bâton, comme on ne le fait pas maintenant pour les chevaux. Cela est horrible; cela 15 vient de ce qu'il n'y avait pas alors de machines; l'animal même était très peu employé. Les bras de l'homme étaient presque le seul moyen de traction que l'on eût.

Prenez une galère antique, un de ces grands navires des Grecs, si admirables de construction; quel est le moteur? 20 C'est la force des bras. Dans les flancs de ce beau navire,

il y a un enfer; il y a là des centaines de créatures humaines, entassées les unes sur les autres, d'une façon à peine concevable, et qui, menant une vie d'éternels gémissements, livrées aux plus cruels traitements, faisaient aller
5 les rames et marcher le navire.

Cela a duré presque jusqu'à nos jours; nous avons des tableaux de ce qu'était l'intérieur d'une galère sous Louis XIV; c'est à faire dresser les cheveux sur la tête, et ce n'est pas sans raison que le nom de galère est resté
10 synonyme des plus terribles travaux forcés.

Pourquoi ces horreurs? Il n'y avait pas de vapeur alors, l'art de la navigation était peu avancé. Les bras de l'homme, appliqués directement à la rame, étaient le seul propulseur. Prenez notre plus grand vaisseau; la somme
15 d'effort musculaire dépensée à la manœuvre est presque insignifiante.

Dans l'antiquité, vous avez un autre travail presque aussi pénible que celui de la rame, c'était celui de la meule.

Il n'y avait pas de moulin à eau ni à vent; on broyait le
20 blé à force de bras, au moyen de deux meules dont l'une était conique et l'autre s'emboîtait dans la première. Tourner la meule était synonyme du plus cruel châtiment. Les moulins ont fait disparaître cette hideuse occupation.

Il n'y a pas jusqu'aux inventions les plus meurtrières
25 qui n'aient servi elles-mêmes à la civilisation. Avant la poudre à canon, celui qui avait un bon cheval et une bonne armure était tellement supérieur au pauvre homme désarmé, que celui-ci n'avait qu'à plier devant lui; depuis la poudre à canon et l'artillerie, la supériorité du chevalier,
30 du seigneur féodal, a disparu. Tout homme, pourvu qu'il soit brave, est l'égal d'un autre; dès lors, nos grands États modernes, négation de la féodalité, ont été créés.

Rien ne prouve mieux combien toutes les parties de l'humanité sont solidaires. Une découverte faite à un bout du monde devient émancipatrice, instrument de progrès à l'autre bout; un savant solitaire découvre une loi de la nature, et cette loi, bien connue, fait disparaître 5 des supplices, des douleurs et des hontes héréditaires.

La force de la vapeur a-t-elle été trouvée d'une manière fortuite et empirique? Nullement. Papin, Watt, étaient des savants, des savants très profonds, et sans de longues expériences on n'aurait jamais pu faire cette découverte, 10 la plus extraordinaire qu'on puisse citer... L'éclairage électrique a son origine dans la connaissance d'une force à peine visible dans la nature.

Les progrès de la navigation sont également dus à la science. Comparez la navigation de nos jours à celle 15 d'autrefois. Quelle différence! Autrefois, on allait de cap en cap, on craignait de perdre la terre de vue. Aujourd'hui la hardiesse des voyages n'a plus de bornes. A qui doit-on ces progrès? A Galilée, à Newton. La détermination des longitudes, problème fondamental de la navigation, n'a 20 pu être résolue que par de profondes découvertes, d'où sont sortis des procédés que le plus simple marin manie de nos jours presque sans réflexion. Or rappelez-vous ce que furent Galilée et Newton: des savants spéculatifs, absorbés par les problèmes les plus abstraits et les plus hauts 25 calculs. Les calculs de Newton, en particulier, étaient si élevés que dix personnes au plus en Europe pouvaient les suivre, et que lui-même, par moments, avait peine à en retrouver le fil.

Ai-je réussi à vous montrer que ces études en apparence 30 réservées à un petit nombre, sont des mères fécondes de découvertes dont tous profitent, que le peuple a le plus

grand intérêt à ce qu'il y ait des savants qui travaillent à agrandir le cercle des connaissances humaines, que les plus belles inventions sortent des travaux d'abord obscurs et solitaires? Et ces inventions ne sont rien comparées à
5 ce qu'on pourrait faire. Et le bien qui en résulte pour le peuple n'est rien comparé à celui qui en sortira.

Un monde sans science, c'est l'esclavage, c'est l'homme tournant la meule, assujetti à la matière, assimilé à la bête de somme. Le monde amélioré par la science sera le
10 royaume de l'esprit, le règne des hommes libres.

Réunissons-nous dans ces espérances. La foi au progrès est la grande consolation de ceux qui travaillent et luttent pour l'avenir.

ERNEST RENAN: *Conférences*, Calmann-Lévy, Paris

CHIMIE

II. Antoine-Laurent Lavoisier

Lavoisier fut, comme personne ne l'ignore, le créateur de la chimie moderne. La science n'existait pas encore au dix-septième siècle. Stahl, malgré l'importance de

ses travaux, n'avait conçu qu'une 5
théorie fausse, au dix-huitième. Ce fut le savant français qui eut la gloire de découvrir 10
les véritables bases de la chimie, et qui, par quinze années de méditations et d'expériences, im- 15
prima à cette science l'essor rapide et brillant qui devait désormais caractériser 20
sa marche.



A.-L. LAVOISIER

Antoine-Laurent Lavoisier naquit à Paris, le 16 août 1743, d'un père fort éclairé, qui avait acquis dans le commerce une fortune très considérable. 25
Il fut placé au collège Mazarin, et y fit toutes ses classes

de la manière la plus remarquable. Toutefois, arrivé en philosophie, le goût des sciences physiques et naturelles le captiva avec tant de force qu'il résolut de s'y consacrer exclusivement. Son père, qui démêlait déjà la haute portée de son intelligence, n'apporta point d'obstacle à la réalisation de ce désir, et lui permit, au contraire, de ne tenir aucun compte, dans les arrangements de sa vie, de l'usage qui forçait un jeune homme, quels que fussent ses instincts scientifiques ou littéraires, de prendre ce qu'on
10 appelait un état. Libre de suivre ses penchants, le jeune Lavoisier étudia les mathématiques et l'astronomie sous l'abbé de La Caille, la chimie dans le laboratoire de Rouelle, et la botanique avec Bernard de Jussieu; en outre, pour être tout entier à la science, il rompit ses
15 relations de société, et n'eut plus de rapports qu'avec ses maîtres et quelques condisciples, qui restèrent toujours ses amis. L'excès du travail ayant altéré sa santé, il se condamna pendant quelque temps à ne vivre que de laitage.

20 A vingt ans, il manifesta d'une manière plus remarquable encore cette force de volonté, qu'aucun obstacle ne rebute, et qui est presque toujours l'indice du génie. L'Académie des Sciences avait proposé pour sujet de prix, en 1763, de déterminer les conditions d'un mode d'éclairage supérieur
25 à celui qu'employait la ville de Paris à cette époque. A peine Lavoisier s'est-il livré à l'examen de cette question de physique, qu'il reconnaît que, pour la résoudre, il faut une vue exercée à saisir, jusque dans leurs moindres nuances, tous les degrés d'intensité de la lumière. Que fait-il
30 alors? Il ordonne qu'on tende de noir une chambre retirée de son habitation, et il s'y renferme, pendant un mois et demi, dans les ténèbres les plus complètes. Mais,

au sortir de cette prison volontaire, ses yeux avaient acquis la faculté de distinguer les plus petites différences dans l'intensité de la lumière artificielle. Ce dévouement ne demeura pas sans récompense, car l'Académie lui décerna le prix, le 9 avril 1766, après un intervalle de temps 5 qui avait été employé, sans doute, à expérimenter les divers systèmes présentés au concours. Lavoisier le partagea, dit-on, entre deux de ses concurrents qui avaient fait des dépenses supérieures à leurs ressources. Quelques écrits qu'il publia ensuite sur divers sujets de chimie, entre autres 10 sur la prétendue conversion de l'eau en terre, lui valurent son admission à l'Académie. Il fut nommé membre associé, en 1768, à la place de Baron. Il avait alors vingt-cinq ans. L'année suivante il demandait et obtenait une place de fermier général. Quelques-uns de ses confrères 15 académiciens s'étonnèrent d'abord de cette seconde association; mais on se convainquit promptement qu'un esprit si bien ordonné n'avait besoin chaque jour que de quelques instants pour les affaires, et que rien ne l'empêcherait d'employer la plus grande partie de son temps et 20 de ses forces à ses recherches scientifiques. Il y travaillait, en effet, plusieurs heures, le matin et le soir; et un jour de la semaine était consacré en entier à constater, par des expériences, les vues qu'avaient fait naître ces études et ces méditations. Ce jour était pour Lavoisier celui du 25 bonheur. Dès le matin, il réunissait dans son laboratoire quelques amis éclairés, dont il réclamait la coopération; il y admettait même des jeunes gens en qui il avait reconnu de la sagacité, et les ouvriers les plus habiles à fabriquer des instruments exacts. Dans ces conférences, il faisait 30 part de ses plans aux assistants avec une grande netteté: chacun proposait ses idées sur les moyens d'exécution; et

tout ce que l'on imaginait de plausible était aussitôt mis à l'épreuve. Il combattit avec succès la doctrine du phlogistique et dans un mémoire présenté à l'Académie en 1777, mais qui ne fut publié qu'en 1782, il inventa le mot
5 *oxygène*. Il élaborait ses notions chimiques dans sa *Méthode de nomenclature chimique* (1787) et dans son *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau, et d'après les découvertes modernes* (1789). Il reconnaissait la signification de l'augmentation de poids des métaux par la calcination et comprenait l'importance de la pesée. C'est
10 ainsi que naquit par degrés la nouvelle théorie chimique qui a fait de la fin du XVIII^e siècle une des époques les plus remarquables de l'histoire des sciences. C'est ainsi que Lavoisier posa les vrais fondements de la chimie moderne
15 tout en y inspirant un esprit nouveau.

En même temps qu'il changeait ainsi la face d'une science, Lavoisier accomplissait avec intelligence et habileté les devoirs de son emploi. Les financiers, ses confrères, à qui sa qualité d'académicien avait inspiré
20 aussi quelque défiance, ne tardèrent pas à reconnaître que chez lui les préoccupations du savant n'excluaient pas l'activité et l'exactitude de l'administrateur. Il acquit dans sa compagnie une influence considérable. C'était lui que l'on chargeait des affaires les plus difficiles. Grâce à
25 la rectitude naturelle de son esprit, il comprit bientôt que les impôts les plus lourds ne sont pas toujours les plus productifs et il en fit modérer ou supprimer plusieurs. La communauté des juifs de Metz lui fut redevable de l'abolition d'un impôt humiliant, et elle lui décerna un témoi-
30 gnage honorable de gratitude. En 1776, Turgot ayant constitué une régie des salpêtres, Lavoisier en devint le principal administrateur. Il fit cesser les visites domi-

ciliaires pour la recherche de cette matière première de la poudre et, néanmoins, la production annuelle des salpêtres, loin de diminuer, s'accrut dans une proportion considérable. En outre, il fit faire à ses frais des expériences et distribuer un mémoire au sujet des nitrières artificielles. 5 Il s'occupait, en même temps, d'agriculture: une ferme qu'il possédait dans le Blaisois, et qu'il exploitait au moyen des procédés les plus perfectionnés de la science agricole, était citée comme un modèle; en quelques années, l'intelligent propriétaire doubla les produits de ses blés, et 10 quintupla ceux de ses troupeaux. En 1788, il avança à la ville de Blois une somme de 50.000 francs pour des achats de blés, et il dirigea lui-même avec tant d'habileté l'emploi de cette somme que la ville échappa complètement aux horreurs de la famine. A la même époque, il était nommé 15 administrateur de la caisse d'escompte.

La nécessité d'une bonne statistique pour déterminer la juste assiette de l'impôt ne pouvait manquer de frapper un esprit aussi judicieux: il entreprit, dans cette vue, un grand ouvrage sur la richesse territoriale du royaume de 20 France; malheureusement ses nombreuses occupations l'empêchèrent de mener à bonne fin cette œuvre importante. A la même époque, Lavoisier était nommé l'un des commissaires de la trésorerie qui venait d'être réorganisée, et l'Académie le désignait comme l'un des membres de la 25 commission chargée de fixer les nouvelles mesures. Il prit une part active aux travaux de cette commission. Tant de services rendus à son pays et à la science ne purent néanmoins lui faire trouver grâce devant les hommes de 93. On le proscrivit comme ancien fermier général, avec vingt- 30 sept de ses collègues. Le jour de sa dénonciation, Lavoisier montait sa garde. Il eut d'abord l'intention de se

cacher, et il passa quelques jours dans un asile que lui offrit M. Lucas, huissier de l'Académie; mais ayant appris l'arrestation de ses collègues et celle de son beau-père, il se fit un point d'honneur de partager leurs périls, et il alla
5 se livrer lui-même. Dans sa prison, il s'occupait paisiblement de réunir les divers mémoires qu'il avait publiés et de les coordonner pour en former un vaste recueil; on ne lui laissa pas le temps de terminer ce travail. Vainement demanda-t-il quelques jours pour achever des expériences
10 utiles à l'humanité (il s'agissait de recherches sur la respiration humaine); vainement un courageux membre de l'Athénée des arts, M. Hallé, présenta-t-il au tribunal un rapport sur les découvertes de l'illustre accusé; les juges qui probablement ne savaient pas, à eux tous, un
15 mot de chimie, ne se laissèrent point ébranler. « La république n'a pas besoin de savants et de chimistes; le cours de la justice ne peut être suspendu », répondit froidement l'accusateur public; et, le lendemain, 8 mai 1794, Lavoisier portait sa tête sur l'échafaud. Il n'avait
20 pas atteint encore sa 51^e année. En apprenant cette mort déplorable, l'illustre Lagrange s'écria: « Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête, et cent années peut-être ne suffiront pas pour en reproduire une semblable. » Quelques semaines plus tard, la tête d'André
25 Chénier roulait sur l'échafaud. Ainsi, la Terreur avait, dans ses derniers jours, frappé un des savants les plus éminents et le plus grand poète que possédât alors la France. Au moins aurait-elle dû respecter ces nobles royautés du génie!

III. Notions de Chimie générale

Corps composés. — On connaît actuellement un très grand nombre de corps qu'on trouve à l'état naturel ou qu'on fabrique au laboratoire ou à l'usine. Ces corps se distinguent les uns des autres par leurs propriétés, et leur nombre s'accroît chaque jour. Ce que nous connaissons 5 déjà nous permet de comprendre qu'ils se divisent en deux grands groupes: les *corps composés* et les *corps simples*.

Par exemple, l'électrolyse nous permet de retirer 16 g. d'oxygène et 2 g. d'hydrogène de 18 g. d'eau. Les propriétés de l'oxygène et celles de l'hydrogène sont tout à 10 fait différentes et elles diffèrent totalement de celles de l'eau. Enfin en combinant 2 g. d'hydrogène et 16 g. d'oxygène, on retrouve 18 g. d'eau. On exprime tous ces faits en disant que *l'eau est un corps composé formé d'oxygène et d'hydrogène*. 15

De même on dit que *le sel de cuisine, ou chlorure de sodium, est un corps composé*: l'électrolyse permet en effet d'en retirer deux corps nouveaux, le sodium et le chlore, et on retrouve du chlorure de sodium quand on fait brûler du sodium dans du chlore. 20

De même encore, on dit que *l'oxyde de mercure est un corps composé*, parce que, en le chauffant, on en retire du mercure et de l'oxygène, dont les propriétés ne rappellent en rien les propriétés de la poudre rouge dont on est parti, et aussi parce que nous savons qu'on retrouve de l'oxyde 25 de mercure quand on chauffe du mercure dans de l'oxygène.

Nous appellerons corps composés tous les corps dont on peut retirer deux ou plusieurs autres corps de propriétés différentes.

Chaque fois que nous décomposons un corps composé en ses éléments, nous faisons une *analyse*.

Chaque fois que nous reproduisons un corps composé en partant de ses éléments, nous faisons une *synthèse*.

5 Il est évident qu'*analyses et synthèses se contrôlent mutuellement*; mais on comprend que *l'analyse doit en général précéder la synthèse*. On ne peut essayer de reproduire une substance que lorsqu'on sait de quels éléments elle est formée et, d'autre part, les synthèses sont, en
10 général, plus difficiles à réaliser que les analyses: tout le monde sait qu'un enfant démolit facilement ses jouets, mais qu'il arrive rarement à les reconstituer.

Corps simples. — Considérons par exemple l'*oxygène*. On n'est pas encore parvenu à en retirer autre chose que
15 de l'*oxygène*; l'*oxygène* peut bien se transformer, mais pour chaque transformation il y a augmentation de masse: l'*oxygène* peut se transformer en eau, mais la masse de l'eau formée est supérieure à celle de l'*oxygène*; il peut se transformer en paillettes rouges d'oxyde de mercure, mais
20 la masse de ces paillettes est supérieure à celle de l'*oxygène*; il peut se transformer en poudre blanche quand on y fait brûler du phosphore, mais la masse de cette poudre est supérieure à celle de l'*oxygène*. Il n'y a donc pas eu décomposition de l'*oxygène*, mais combinaison de l'*oxy-*
25 *gène* avec l'*hydrogène*, le mercure, le phosphore, pour former des corps composés.

Nous exprimons cette *impossibilité de dédoubler l'oxygène* en disant que c'est un *corps simple* ou un *élément*.

Nous appellerons *corps simples* ou *éléments* tous les corps
30 *qui, comme l'oxygène, ne peuvent jamais être dédoublés en deux ou plusieurs autres corps de propriétés différentes.*

On reconnaît aussi qu'un corps est un élément à ce que les

transformations qu'il subit ne sont jamais accompagnées d'une diminution de masse.

L'oxygène, l'azote, l'hydrogène, le chlore, le soufre, le sodium, le fer, le cuivre sont des éléments.

Métalloïdes et métaux. — Tandis que les corps composés sont en nombre considérable, on ne connaît jusqu'ici qu'un petit nombre de corps simples, 80 environ, qui se partagent en deux groupes: les métalloïdes et les métaux.

Il y a environ 20 métalloïdes et 60 métaux.

L'oxygène, l'azote, le chlore, le soufre, le phosphore, le carbone sont des métalloïdes.

L'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le nickel, le fer, le zinc, l'étain, l'aluminium, le sodium sont des métaux.

Les métaux polis ont un éclat particulier, qu'on appelle *l'éclat métallique*. Certains métalloïdes peuvent être plus ou moins polis et acquérir de l'éclat: par exemple le carbone cristallisé ou diamant, le soufre, le phosphore; mais cet éclat ressemble plutôt à celui du verre; on l'appelle *éclat vitreux*, et il se distingue facilement de l'éclat métallique.

20

Les métaux sont bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité, tandis que *les métalloïdes sont mauvais conducteurs de la chaleur et de l'électricité*: on emploie des fils de fer, de cuivre, d'aluminium pour conduire le courant électrique, tandis que les métalloïdes sont des isolants, comme le soufre, ou des corps beaucoup moins bons conducteurs que les métaux, comme le carbone.

Enfin *les métaux ont des propriétés mécaniques très importantes au point de vue pratique*: ils sont *résistants, malléables, ductiles, tenaces*, ce qui permet de les travailler au marteau, à la presse, au laminoir, à la filière, et, par suite, de les employer à la construction des pièces de

machines et d'une foule d'objets. Les métalloïdes ne possèdent pas ces propriétés; ils sont mous ou cassants et ne peuvent pas être employés aux mêmes usages.

Ces caractères distinctifs disparaissent quand les corps sont réduits en poudre: par exemple, l'argent en poudre a un aspect gris terne analogue à celui de la poussière; il forme avec l'eau une boue noirâtre, il n'a plus d'éclat, ne conduit plus la chaleur ni l'électricité.

La différence qui sépare les métalloïdes des métaux se manifeste surtout dans leurs composés.

Le soufre, le phosphore, le carbone brûlent dans l'oxygène et les produits de la combustion rougissent la teinture de tournesol, par conséquent, donnent des acides. Le sodium et les autres métaux brûlent aussi dans l'oxygène ou se combinent avec lui par des procédés plus ou moins détournés; mais les produits ainsi obtenus bleussent la teinture de tournesol rougie par les acides, par conséquent, donnent des bases.

Les métalloïdes sont donc des éléments dont les composés oxygénés, mis au contact de l'eau, ont en général des propriétés acides.

Les métaux, au contraire, sont des éléments dont les composés oxygénés, mis au contact de l'eau, ont en général des propriétés basiques.

Principe de la conservation de la matière. — Versons dans un flacon à large ouverture (fig. 1) une dissolution d'azotate d'argent, puis plaçons-y une éprouvette contenant de l'acide chlorhydrique; bouchons hermétiquement et mettons le flacon sur le plateau d'une balance en rétablissant l'équilibre avec de la grenaille de



FIG. 1. — LOI DE LAVOISIER

plomb. En renversant à demi le flacon, nous faisons couler l'acide chlorhydrique dans l'azotate d'argent: les deux corps réagissent et donnent un précipité blanc de chlorure d'argent. Remettons le flacon sur son plateau: la balance reprend sa position d'équilibre, ce qui indique 5 que *la réaction s'est effectuée sans variation de masse.*

Recommençons l'expérience en plaçant au fond du flacon du sel de cuisine ou du sucre, et dans l'éprouvette de l'eau; l'équilibre ayant été établi, faisons couler l'eau dans le flacon: le sel ou le sucre se dissolvent, mais 10 *l'équilibre n'est pas détruit.*

Disposons enfin au fond d'un ballon en verre mince, plein d'air, une feuille de carton d'amiante sur laquelle nous laissons tomber un petit fragment de phosphore; le ballon ayant été soigneusement fermé, nous le pesons, puis 15 nous enflammons le phosphore en chauffant très légèrement le fond du ballon; quand la combustion est terminée et que le ballon s'est refroidi, nous le reportons sur la balance, et nous constatons que *sa masse n'a pas varié.*

Ces expériences peuvent être multipliées et variées 20 autant qu'on le désire, on peut les réaliser avec les balances les plus sensibles: elles fournissent toujours le même résultat et montrent que les phénomènes physiques ou chimiques ne modifient jamais la masse totale des corps qui en sont le siège. 25

Nous pouvons donc dire que *la masse d'un composé est égale à la somme des masses des composants; ou encore que la masse totale d'un système de corps isolé est invariable, quels que soient les phénomènes qui s'y produisent.*

Cette loi fondamentale a été mise en évidence et énoncée 30 nettement pour la première fois, à la fin du XVIII^e siècle, par l'illustre chimiste français Lavoisier, le fondateur de la

chimie moderne. Tous les phénomènes découverts depuis n'ont fait que la confirmer; mais on a constaté en outre que *l'énergie emmagasinée dans un système isolé est également invariable*, qu'elle peut bien se transformer et prendre
 5 les formes les plus variées: travail, chaleur, lumière, énergie électrique ou chimique, mais qu'elle ne peut ni augmenter ni diminuer. Ce sont ces deux lois fondamentales:

loi de la conservation de la masse,

10 *loi de la conservation de l'énergie,*

qu'on énonce en disant: *rien ne se perd, rien ne se crée.*

Loi des proportions définies. — On a constaté, par analyse et par synthèse, que l'eau pure renferme 2 g. d'hydrogène pour 16 g. d'oxygène, ou encore que la masse
 15 de l'oxygène est 8 fois plus grande que celle de l'hydrogène. Quand l'oxygène et l'hydrogène se combinent pour donner de l'eau, la masse de l'oxygène qui entre en combinaison est toujours 8 fois plus grande que celle de l'hydrogène; et si on fait intervenir trop d'oxygène ou trop d'hydro-
 20 gène, le gaz en excès reste non combiné.

Quand on chauffe dans un creuset de la limaille de fer et de la fleur de soufre, on voit la masse devenir incandescente et il se forme un corps nouveau, le *sulfure de fer*. Si on a mis 56 g. de fer et 32 g. de soufre, la combinaison est com-
 25 plète; sinon, il reste du fer ou du soufre non combiné.

Quand on fait brûler du carbone dans de l'oxygène, pour former du gaz *carbonique*, l'expérience montre que la masse d'oxygène absorbé est proportionnelle à la masse de carbone brûlé et que pour brûler complètement 12 g. de
 30 carbone il faut 32 g. d'oxygène. Entre les masses de carbone et d'oxygène il existe donc un rapport constant, qui est ici égal à $\frac{1}{3}\frac{2}{2}$. S'il y a trop d'oxygène, le carbone

brûle complètement et l'oxygène en excès reste inaltéré; s'il y a trop de carbone, la combustion s'arrête dès qu'il n'y a plus d'oxygène et le carbone en excès se retrouve à la fin de l'expérience.

Les mêmes remarques pourraient être faites à propos 5 de toutes les combinaisons; on les a résumées dans la loi suivante, ou loi des proportions définies:

Tous les échantillons d'un même corps pur ont des compositions rigoureusement identiques; ou encore:

Lorsque deux corps se combinent, pour former un même 10 composé pur, les masses de ces corps qui entrent en combinaison sont entre elles dans un rapport constant.

Mélanges et combinaisons. — Prenons de la limaille de fer et de la fleur de soufre; le produit a une couleur qui varie du jaune clair du soufre au gris du fer suivant les 15 proportions; il est attirable par l'aimant comme le fer, avec l'acide chlorhydrique il donne un dégagement d'hydrogène comme le fer, il est partiellement soluble dans le sulfure de carbone comme le soufre; il a donc des propriétés qui rappellent celles du fer et du soufre et qui 20 varient avec les proportions. Les constituants n'ont donc pas perdu leur individualité. On peut d'ailleurs les distinguer les uns des autres soit à l'œil nu, soit à la loupe, soit au microscope. Enfin on peut facilement les séparer: il suffit de verser du sulfure de carbone sur le mélange, 25 d'agiter et de filtrer: le fer, qui ne s'est pas dissous, reste sur le filtre, le soufre, qui s'est dissous, se trouve dans le liquide clair qui passe, car il suffit de laisser évaporer ce liquide pour obtenir sur la paroi du vase un dépôt jaune de soufre. 30

Chauffons maintenant ce mélange au rouge sur une plaque de tôle. La masse devient incandescente et, après

refroidissement, nous avons un produit noirâtre, qu'on appelle *sulfure de fer*, et qui ne rappelle plus ni le fer ni le soufre: par exemple, en le traitant par l'acide chlorhydrique, nous obtenons un gaz à odeur fétide, le gaz sulfhydrique. Il serait extrêmement difficile de régénérer le fer et le soufre d'où nous sommes partis. Enfin, en faisant l'expérience avec précision, nous constaterions que le fer et le soufre se sont unis dans la proportion de 56 g. de fer pour 32 g. de soufre.

10 Nous dirons que *dans le premier cas il y a eu mélange* et que *dans le second cas il y a eu combinaison*.

Si nous mettons en contact de l'eau et de l'alcool, ou de l'eau et du sucre, nous obtenons un liquide parfaitement homogène, où il est impossible de distinguer les constituants, même avec les meilleurs microscopes, mais qui a toutes les propriétés d'un mélange: on retrouve dans le tout les propriétés des parties (saveur, odeur); la séparation est facile: il suffit de faire bouillir pour séparer l'alcool, plus volatil, de l'eau, qui l'est moins, ou pour chasser l'eau en produisant un dépôt de sucre solide. Enfin les proportions d'eau et d'alcool, d'eau et de sucre, peuvent être variées à l'infini. A ces *mélanges parfaitement homogènes* on donne le nom de *dissolutions*.

Enfin si nous considérons deux gaz, par exemple 25 l'hydrogène et le chlore (en opérant dans l'obscurité), il suffit de les introduire dans un même vase pour obtenir un *mélange parfaitement homogène*: les propriétés (couleur, densité) sont intermédiaires entre celles de l'hydrogène et du chlore; la séparation est facile (il suffit d'ajouter un peu de soude, qui dissout le chlore en laissant l'hydrogène), et les proportions sont absolument quelconques. Si, au contraire, nous exposons le mélange à la lumière diffuse,

nous savons qu'il y a formation d'un corps entièrement différent du précédent, le gaz *acide chlorhydrique*, qui peut, en particulier, se dissoudre dans une quantité insignifiante d'eau et dont le dédoublement en hydrogène et en chlore est difficile à réaliser. Nous avons maintenant 5 affaire à une *combinaison*: les proportions ne peuvent plus être quelconques, la combinaison ne se produit qu'entre des volumes égaux d'hydrogène et de chlore; par exemple, s'il y a 150 cm³ d'hydrogène et 100 cm³ de chlore, il restera 50 cm³ d'hydrogène. 10

De même l'hydrogène et l'oxygène peuvent se *mélanger* en proportions quelconques ou se *combinaison* en proportions bien définies (2 cm³ d'hydrogène pour 1 cm³ d'oxygène).

Les combinaisons se distinguent des mélanges et des dissolutions: par la formation d'un corps nouveau dont 15 les propriétés ne rappellent en rien celles des constituants; par la difficulté qu'on éprouve, en général, à séparer les constituants les uns des autres après leur union; et surtout en ce que la combinaison se fait en proportions bien définies, toujours les mêmes pour un même composé, 20 tandis qu'un mélange ou une dissolution peuvent se faire en proportions quelconques.

Les corps purs qui résultent des combinaisons ont une composition rigoureusement invariable et possèdent des propriétés bien définies, tandis que la composition et les 25 propriétés d'un mélange sont essentiellement variables.

L'air doit être considéré comme un mélange d'oxygène et d'azote, et non comme une combinaison, parce que les propriétés de l'air rappellent celles de l'oxygène et de l'azote, dont elles sont des moyennes, et aussi parce qu'il 30 est très facile de séparer l'oxygène et l'azote de l'air, puisqu'il suffit de laisser l'air liquide se vaporiser: l'azote

repassé le premier à l'état gazeux, de même que l'alcool distille le premier quand on chauffe un mélange d'alcool et d'eau.

P. MASSOULIER: *Éléments de Chimie*, Librairie Vuibert, Paris

IV. Nomenclature, et Fonctions chimiques

Symboles des éléments. — Les corps simples étant
5 relativement peu nombreux, 80 environ, chacun d'eux a pu être désigné par un nom particulier: hydrogène, oxygène, azote, soufre, fer; pour abréger l'écriture, on a pu aussi représenter chacun d'eux par un symbole: H, O, Az, S, Fe. Comme on le voit, chaque symbole est con-
10 stitué par une lettre majuscule, qui est la première lettre du nom français ou étranger de l'élément; quand il peut y avoir confusion, on ajoute une lettre minuscule prise dans le nom (Az, As, Ag, Al).

Enfin on a donné à ces symboles non seulement une
15 signification qualitative, mais aussi un sens quantitatif précis: par convention chaque symbole représente une masse bien déterminée de chaque élément, qu'on appelle sa masse atomique. Par exemple,

20 H représente 1 g. d'hydrogène,
O représente 16 g. d'oxygène,
Az représente 14 g. d'azote,
C représente 12 g. de carbone.

Formules des corps composés. — Les corps composés étant en nombre considérable, on ne pouvait songer à leur
25 donner des noms quelconques ou à les représenter par des symboles arbitrairement choisis; il eût été impossible de

s'y reconnaître. On s'efforce, au contraire, en suivant les règles de la *nomenclature*, de leur donner des noms formés en utilisant les noms des éléments qu'ils renferment. En outre, on les représente par des *formules* obtenues en employant seulement des éléments, de même qu'on écrit tous les nombres avec 10 chiffres, de même qu'on écrit tous les mots avec les 25 lettres de l'alphabet. 5

Par convention *on écrit les formules de telle sorte qu'elles représentent les compositions quantitatives des corps qu'elles figurent.* 10

Par exemple, l'eau, qui est formée de 16 g. d'oxygène pour 2 g. d'hydrogène, sera représentée par la formule H^2O , qui indique justement cette composition.

On connaît une autre combinaison d'oxygène et d'hydrogène, l'eau oxygénée, dans laquelle la masse d'oxygène est 16 fois plus grande que la masse d'hydrogène: cette composition serait également bien représentée par les formules HO , H^2O^2 , H^3O^3 , etc., et cependant tous les chimistes adoptent la formule H^2O^2 . 15

Les combinaisons de l'oxygène avec les autres éléments sont en général désignées sous le nom d'*oxydes*: oxydes de fer, de cuivre, de zinc. 20

On désigne sous le nom de *chlorures* les combinaisons du chlore avec les autres corps simples: chlorures de phosphore, de sodium, de fer, de zinc. 25

On désigne sous le nom de *sulfures* les combinaisons du soufre avec les autres corps simples: sulfures de carbone, de plomb, de fer, de cuivre.

Il arrive souvent que deux corps, en se combinant, forment plusieurs composés: on distingue ces composés par des préfixes ou des terminaisons variables. Par exemple, le fer et l'oxygène donnent plusieurs composés: 30

l'un a pour formule FeO : on l'appelle *oxyde ferreux* ou *protoxyde de fer*; un autre, plus riche en oxygène, a pour formule Fe_2O_3 ; on l'appelle *oxyde ferrique* ou *sesquioxyde de fer*.

- 5 On distingue aussi les divers composés oxygénés, sulfurés, chlorés, etc. d'un même élément par les préfixes *proto*, *bi*, *sesqui*, *tri*, *tétra*, *penta*, *hexa*. Exemples: protoxyde de fer, FeO , et sesquioxyde de fer, Fe_2O_3 ; protoxyde de manganèse, MnO , et bioxyde de manganèse,
 10 MnO_2 ; bichlorure et tétrachlorure d'étain, Cl_2Sn et Cl_4Sn ; trichlorure et pentachlorure de phosphore, Cl_3P et Cl_5P .

On peut aussi distinguer ces combinaisons au moyen des préfixes *per* et *hypo*, qui indiquent des combinaisons plus
 15 ou moins riches en oxygène, chlore, soufre, ou encore au moyen des terminaisons *eux* et *ique*; la terminaison *eux* est donnée aux composés les moins riches et la terminaison *ique* aux composés les plus riches. Exemples: oxyde azoteux, Az_2O — oxyde azotique, AzO — peroxyde d'azote,
 20 AzO_2 .

Nous savons que presque tous les composés oxygénés des métalloïdes ont la propriété de se combiner avec l'eau pour donner des acides: on les appelle des *anhydrides d'acides* et on les distingue les uns des autres en suivant
 25 les règles précédentes. Par exemple, le soufre donne avec l'oxygène deux combinaisons principales: l'*anhydride sulfureux* (ou gaz sulfureux), SO_2 , l'*anhydride sulfurique*, SO_3 ; qui, au contact de l'eau, donnent deux acides: l'*acide sulfureux*, SO_3H_2 , l'*acide sulfurique*, SO_4H_2 . En se
 30 combinant avec la soude, par exemple, ces acides donnent à leur tour des sels: le *sulfite de sodium*, SO_3Na^2 , le *sulfate de sodium*, SO_4Na^2 .

Enfin on connaît un autre acide du soufre, qui a pour formule $S^2O^3H^2$ et qui, par conséquent, est moins riche en oxygène que l'acide sulfureux: on l'appelle *acide hyposulfureux* et ses sels sont appelés *hyposulfites*. On connaît aussi un anhydride et un acide du soufre qui ont pour 5 formules S^2O^7 et SO^4H et qui, par conséquent, sont plus riches en oxygène que l'anhydride et l'acide sulfurique: on les appelle *anhydride persulfurique* et *acide persulfurique* et les sels correspondants sont appelés *persulfates*.

On remarquera que quand on passe d'un acide à un sel, 10 les terminaisons *eux* et *ique* se changent en *ite* et *ate* respectivement; c'est là une règle générale.

Ces quelques exemples suffisent pour faire comprendre le mécanisme de la nomenclature parlée en chimie; c'est l'usage seul qui permet de se familiariser avec ce méca- 15 nisme. Les règles de la nomenclature chimique sont d'ailleurs beaucoup moins précises que celles de la numération, auxquelles nous les avons comparées: elles ne sont pas appliquées pour beaucoup de corps, surtout pour les corps usuels les plus importants, auxquels on a conservé 20 les noms qui leur avaient été arbitrairement attribués autrefois: par exemple il ne viendrait à personne l'idée de désigner l'eau sous le nom d'oxyde d'hydrogène.

Fonctions chimiques. — L'étude approfondie des corps a montré que leurs propriétés, quoique très variables, se 25 ramènent cependant à un nombre relativement restreint de types: les différents corps peuvent être répartis en groupes de telle façon que tous les corps d'un même groupe aient des propriétés analogues. Les acides, les bases et les sels représentent trois de ces groupes, et on en rencontre d'autres 30 dans l'étude de la chimie organique. Chacun de ces groupes constitue une *fonction chimique*, et *chaque fonction*

chimique est caractérisée par les propriétés communes à tous les corps qui font partie du groupe. On conçoit que l'étude de la chimie soit énormément facilitée par la considération de ces groupements: au lieu d'avoir à étudier successive-
5 ment tous les corps, il suffit de bien se pénétrer des propriétés essentielles d'un ou deux corps types appartenant à chaque groupe et choisis naturellement parmi les plus importants.

Le rôle de ces groupements est aussi très considérable au
10 point de vue du développement progressif de la chimie; on est constamment conduit à se demander si deux corps appartiennent ou non au même groupe et, s'ils appartiennent au même groupe, il est intéressant de voir si toutes les propriétés observées sur l'un des corps se retrouvent
15 pour l'autre, de sorte que la découverte d'une propriété nouvelle dans un corps suscite toute une série de recherches destinées à voir si cette propriété appartient ou non aux autres corps du même groupe.

Acides. — *Les acides sont des corps dont les propriétés*
20 *sont analogues à celles de l'acide chlorhydrique.* Ils sont caractérisés par les propriétés suivantes:

1. *Les acides rougissent la teinture de tournesol.*
2. *Leurs solutions dans l'eau sont électrolysables, avec mise en liberté d'hydrogène à la cathode,* tandis que les autres
25 *éléments de l'acide apparaissent à l'anode.*
3. *Les acides se combinent à la soude avec dégagement de chaleur et formation d'un sel et d'eau.* Par exemple, l'acide chlorhydrique, en réagissant sur la soude, donne du chlorure de sodium et de l'eau.

30 Suivant que le dégagement de chaleur est plus ou moins considérable, on dit que l'acide est fort ou faible: les acides chlorhydrique, sulfurique, azotique sont des *acides*

forts, ils colorent la teinture de tournesol en *rouge vif*. L'acide carbonique est un *acide faible*, il colore la teinture de tournesol en *rouge vineux*.

4. *Les acides sont décomposés par les métaux avec production d'un sel et dégagement d'hydrogène.* Par exemple, 5 quand on fait agir l'acide chlorhydrique sur du zinc, on observe une vive effervescence due au dégagement d'hydrogène, et il se forme du chlorure de zinc, qu'on peut faire cristalliser en concentrant la solution.

Tous les acides renferment donc de l'hydrogène remplaçable par un métal, et quand cet hydrogène est remplacé par un métal, l'acide est transformé en sel. 10

Certains acides, comme le gaz acide chlorhydrique, résultent de la combinaison d'un métalloïde avec l'hydrogène; on les appelle des *hydracides*. Mais en général les 15 acides résultent de la combinaison avec l'eau des oxydes de métalloïdes (soufre, phosphore, carbone, azote): nous savons en effet que presque tous les composés oxygénés des métalloïdes, en se combinant avec l'eau, donnent des acides; on appelle ces acides des *oxacides*, pour indiquer 20 qu'ils renferment de l'oxygène.

Bases. — *Les bases sont des corps analogues à la soude.* Elles sont caractérisées par les propriétés suivantes:

1. *Les bases ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par les acides.* 25

2. *Leurs solutions dans l'eau sont électrolysables, avec mise en liberté de métal à la cathode.*

3. *Elles se combinent à l'acide chlorhydrique et, plus généralement, aux acides, avec dégagement de chaleur et formation d'un sel et d'eau.* 30

4. *Enfin les formules des bases renferment une ou plusieurs fois le groupement OH, et on les désigne sous le nom*

d'hydrates, parce qu'on peut les considérer comme résultant de la combinaison d'un oxyde métallique avec de l'eau. Par exemple, la soude, ou hydrate de sodium, a pour formule NaOH . Ce sont ces groupements OH qui, en se combinant avec l'hydrogène des acides, fournissent de l'eau quand on fait agir un acide sur une base.

Presque tous les oxydes métalliques ont au contact de l'eau des propriétés basiques: la soude, la chaux sont des bases très énergiques, car elles se combinent avec l'acide chlorhydrique en dégageant beaucoup de chaleur; les hydrates de zinc, de fer, de cuivre sont des bases moins énergiques, car, en se combinant avec les acides, elles dégagent beaucoup moins de chaleur.

Sels. — *On désigne sous le nom de sels tous les corps qui sont analogues au chlorure de sodium ou sel ordinaire.*

Les sels sont souvent solubles dans l'eau; ils peuvent cristalliser et leurs solutions aqueuses sont électrolysables, avec mise en liberté de métal à la cathode, tandis que les autres éléments du sel apparaissent à l'anode.

On peut toujours obtenir un sel en faisant agir un acide sur une base ou sur un métal, ce qui fournit en même temps que le sel, soit de l'eau, soit un dégagement d'hydrogène.

Enfin on passe de la formule d'un acide à celle d'un sel en remplaçant l'hydrogène de l'acide par un métal.

P. MASSOULIER: *Éléments de Chimie*, Librairie Vuibert, Paris

V. Le Soufre

État naturel. — Le soufre est un corps connu de toute antiquité. Il se rencontre, en effet, dans la nature, à l'état de liberté, mélangé à des matières terreuses, au voisinage des volcans éteints ou en activité.

On le trouve aussi en masses compactes dans des couches qui n'ont aucune origine volcanique et où il accompagne le gypse ou pierre à plâtre (sulfate de calcium). Il y paraît dû à l'action de certaines algues qui réduisent les sulfates et leur prennent du soufre.

5

On rencontre l'acide sulfhydrique dans les fumerolles des volcans.

Beaucoup de métaux se rencontrent dans la nature unis au soufre; citons seulement, à cause de leur importance au point de vue de l'acide sulfureux, la pyrite FeS_2 , la 10 blende ZnS .

Extraction. — La Sicile fournit les $\frac{9}{10}$ de la production mondiale. Les procédés d'extraction du soufre que l'on emploie encore aujourd'hui, dans les régions montagneuses de la Sicile, sont toujours assez primitifs.

15

Si le minerai est abondant et le combustible rare, on entasse le minerai sur une aire inclinée, dans une cavité cylindrique en maçonnerie. On recouvre la meule ainsi formée de menus débris et de terre. Par des cheminées que l'on a eu soin de ménager dans la masse, on introduit 20 des branches ou des herbes allumées; le soufre brûle en partie et la chaleur dégagée par cette combustion liquéfie le reste de la masse. En élargissant plus ou moins l'ouverture des cheminées, on règle le tirage de façon que la combustion continue lentement et se propage de bas en haut. 25 Le soufre fondu s'écoule par un orifice pratiqué à la partie décline. Un tiers au moins du soufre est ainsi sacrifié pour fondre les deux autres tiers.

Lorsque le minerai est pauvre, et que le soufre est mélangé à une forte proportion de matières bitumineuses, 30 on l'introduit dans des pots en terre disposés dans un long fourneau sur la sole duquel on brûle du bois. On volatilise

ainsi le soufre, dont les vapeurs vont se condenser dans un pot placé à l'extérieur du fourneau. On peut atteindre le soufre par des trous de sonde, fondre ce corps par injection de vapeur d'eau surchauffée à 170° et aspirer le liquide.

5 **Raffinage.** — Le soufre ainsi obtenu est le soufre brut; il renferme de 88 à 96 pour 100 de soufre, le reste étant des matières terreuses entraînées; il doit être *raffiné*.

10 A cet effet, on vaporise le soufre dans un cylindre en fonte, et les vapeurs vont se
15 condenser dans une grande chambre en maçonnerie (fig. 2).

Si la conden-
20 sation se fait

brusquement au contact de l'air froid de cette chambre ou des parois froides, on obtient une matière pulvérulente très légère, la *fleur de soufre*. Si on laisse les parois s'échauffer, par suite de la condensation des vapeurs, la
25 température s'élève au-dessus de 140° et le soufre se dépose à l'état liquide.

Par une ouverture inférieure que l'on débouche de temps en temps, on fait couler le liquide dans des moules coniques en bois plongés dans l'eau. Le soufre se solidifie et est
30 livré au commerce sous la forme de bâtons coniques; c'est le soufre en *canons*.

Les gaz chauds du foyer circulent autour d'une chau-

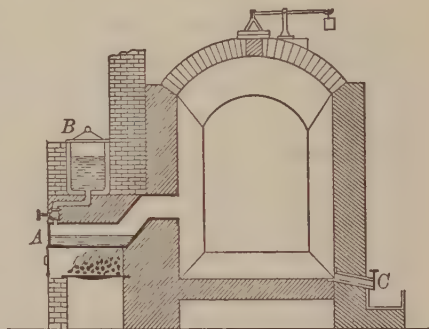


FIG. 2. — SCHÉMA DU RAFFINAGE DU SOUFRE

dière dans laquelle on introduit le soufre brut. Le soufre fond, les matières terreuses se déposent et le liquide est amené, par un conduit coudé, dans les cylindres où il se vaporise.

Propriétés physiques. — Le soufre présente plusieurs 5 variétés allotropiques. Il en est de très bien définies, que nous savons obtenir à volonté et dont nous allons parler.

Mais, quand on est en présence d'un morceau de soufre d'origine inconnue, on peut le trouver différent de chacune des variétés bien définies en question. Il se pourrait qu'il 10 constituât une nouvelle variété; mais généralement il n'en est pas ainsi; on est en présence d'un mélange de variétés connues ou même de soufre impur et, alors, par exemple, on n'observe pas de point de fusion net.

Toutes les variétés de soufre connues sont jaunes, mais 15 avec des nuances variant du jaune très pâle au jaune rougeâtre en passant par le jaune citron, qui est la teinte habituelle; elles sont mauvaises conductrices de la chaleur et de l'électricité; leurs densités sont voisines de 2.

Fusion de soufre. — Le point de fusion des diverses 20 variétés de soufre n'est pas le même; il peut aussi n'être pas net, mais il est toujours compris entre 110 et 120°.

Avec le soufre courant on obtient d'abord un liquide jaune clair, ressemblant à de l'huile d'olive; chauffé, ce liquide s'épaissit et brunit; vers 220° il est noir et assez 25 visqueux pour qu'on puisse retourner le récipient où on l'a fondu, sans qu'il s'écoule plus vite qu'une confiture épaisse; porté à température plus élevée, le soufre reprend un peu de fluidité, mais reste noir; à 444° il entre en ébullition en donnant des vapeurs rougeâtres très denses. 30 Par refroidissement le soufre repasse en sens inverse par les états précédents.

Il est à noter toutefois que le soufre bien privé de gaz sulfureux (par chauffage prolongé dans le vide) n'offre pas ces particularités; après fusion il devient fluide et cela d'autant plus que sa température est plus élevée.

- 5 La densité de vapeur du soufre varie avec la température; on a trouvé depuis 8,8 à basse température jusqu'à 2,2, valeur qu'on obtient vers 1000°.

Solubilité. — Le soufre est insoluble dans l'eau; son meilleur dissolvant est le sulfure de carbone; néanmoins,
10 lorsqu'on essaie de dissoudre du soufre dans ce liquide, il arrive que certains échantillons se montrent partiellement ou totalement insolubles. Il y a donc lieu de distinguer le *soufre soluble* dans le sulfure de carbone et le *soufre insoluble* dans ce dissolvant (également insoluble dans
15 l'alcool et le benzène, où est soluble l'autre soufre).

La fleur de soufre, ainsi que le soufre mou redevenu cassant, contiennent pas mal de soufre insoluble; tout soufre qui a été porté au-dessus de 155° et qui a été refroidi brusquement en contient.

- 20 Lorsque la lumière solaire vient frapper un flacon de verre fermé contenant du soufre dissous dans le sulfure de carbone, une partie de ce soufre devient insoluble et se dépose.

Le soufre insoluble étant amené à la fusion donne par
25 refroidissement lent du soufre prismatique qui est soluble.

Cristallisation du soufre. — Le soufre est polymorphe. Deux de ses formes cristallisées sont faciles à obtenir et stables dans certains domaines: 1. Par évaporation de ses solutions à la température ordinaire, le soufre se sépare
30 en cristaux volumineux qui sont des *octaèdres orthorhombiques*. C'est à cette variété qu'appartiennent les cristaux de soufre naturels. 2. Le soufre fondu se solidifiant vers

110° cristallise en fines aiguilles prismatiques appartenant au système *monoclinique* (fig. 3).

On connaît aussi plusieurs variétés de soufre amorphe, les unes solubles, les autres non. Lorsqu'on coule dans l'eau froide du soufre maintenu liquide à une température 5

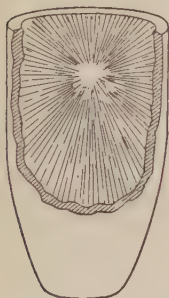


FIG. 3. — COUPE D'UN CREUSET RENFERMANT DES CRISTAUX MONOCLINIQUES DU SOUFRE

à peine supérieure à sa température de fusion, il se solidifie brusquement en une matière d'un jaune clair, cassante, qui ne diffère pas du soufre en canons que nous avons 10 étudié précédemment. Mais si l'on coule dans l'eau froide, en filet mince, le soufre visqueux que l'on obtient en chauffant à 250°, on obtient une matière brune, élastique 15 comme du caoutchouc: c'est le *soufre mou*. Ce soufre ne reste pas longtemps en cet état; il perd peu à peu sa transparence et son élasticité et se transforme en soufre cassant. 20

Propriétés chimiques. — Le soufre agit directement sur presque tous les éléments (principales exceptions: l'azote, l'or, le platine et les métaux de sa famille).

Avec l'hydrogène, vers 440°, il donne de l'acide sulfhydrique. 25

Dans l'oxygène pur, il s'enflamme à 282°, dans l'air à 363°: on obtient de l'anhydride sulfureux SO^2 et des traces de SO^3 ; il s'oxyde d'ailleurs, mais lentement, dès la température ordinaire.

Les halogènes l'attaquent; avec le chlore, il se fait un 30 liquide jaune, le chlorure de soufre; avec le fluor, un hexafluorure.

Le carbone au rouge est capable de se combiner au soufre, et l'on obtient ainsi le sulfure de carbone.

La plupart des métaux brûlent dans la vapeur du soufre; nous citerons spécialement le cuivre et le fer, parce qu'on
5 utilise leur action sur le soufre pour avoir les sulfures de cuivre et de fer.

Le soufre brûle facilement en donnant de l'anhydride sulfureux, facile à reconnaître à son odeur.

Usages. — Le soufre est employé en grande quantité
10 dans l'industrie pour fabriquer l'anhydride sulfureux et l'acide sulfurique, les hyposulfites et l'outremer. Il sert dans la fabrication des allumettes chimiques; mélangé au nitre et au carbone, il entre dans la composition de la poudre noire. On se sert quelquefois du soufre pour
15 sceller le fer dans la pierre.

C'est un poison pour beaucoup d'organismes inférieurs; aussi est-il employé en médecine pour le traitement des maladies de la peau. Pour la même raison la fleur de soufre est employée en agriculture au *soufrage* de la vigne
20 atteinte de l'*oïdium*.

Il sert à préparer des mèches soufrées que l'on brûle dans les tonneaux destinés à conserver les liquides alcooliques.

Un à deux centièmes de soufre incorporés au caoutchouc donnent le caoutchouc *vulcanisé*. Le caoutchouc non
25 vulcanisé se ramollit lorsque la température s'élève, et les lames minces employées à la confection des vêtements se colleraient entre elles ou adhéreraient aux étoffes; la vulcanisation, tout en conservant au caoutchouc la souplesse et l'élasticité, l'empêche de se ramollir sous l'action
30 de la chaleur.

R. LESPIEAU: *Chimie générale, Métalloïdes*, Librairie Hachette, Paris

VI. L'Industrie des Dérivés du Pétrole

L'automobiliste qui remplit son réservoir d'essence, la ménagère qui garnit sa lampe, ne songent guère à se demander d'où provient le produit qu'ils emploient, et comment il est obtenu. Évidemment, l'automobiliste sait bien que son essence est du pétrole; mais sait-il aussi que le 5 pétrole intervient sous bien d'autres formes pour lui permettre de rouler? L'huile dont il se sert pour graisser son moteur provient, elle aussi, du pétrole, ainsi que la majeure partie de l'asphalte dont sont constituées les chaussées modernes. Pétrole encore, le mazout, si souvent 10 à l'ordre du jour au cours des dernières années, et qui fournit la force motrice au sous-marin et à nombre de navires et installations terrestres de force et de chauffage. Si nous nous tournons vers les applications ménagères, plus usuelles encore, nous retrouvons aussi, à côté du 15 pétrole ordinaire d'éclairage, un certain nombre de produits intéressants ayant la même origine: la vaseline, la paraffine, qui sert à la fabrication des bougies et des encaustiques à parquet, et qui s'emploie aussi pour le repassage du linge. Enfin, c'est encore le pétrole qui, seul ou en com- 20 binaison avec d'autres corps, fournit la majeure partie des huiles et graisses employées pour lubrifier les mécanismes de toute sorte et de toute taille utilisés dans l'industrie.

On se fera une idée plus précise de l'importance de l'industrie du pétrole quand nous aurons dit que le chiffre 25 d'affaires annuel de cette industrie aux États-Unis est évalué, d'après les statistiques les plus récentes, à 2.500.000.000 de dollars. Elle comprend quelques centaines d'installations, dont plusieurs occupent près de 10.000 ouvriers et employés. Nos lecteurs connaissent 30

dans ses grandes lignes le procédé servant à l'extraction du pétrole brut, aussi n'y reviendrons-nous pas ici; nous nous proposons simplement de mettre sous leurs yeux les diverses phases des traitements auxquels est soumise cette
5 matière première en vue d'obtenir les divers dérivés avec lesquels tous sont plus ou moins familiarisés par un usage quotidien.

Le pétrole brut, sortant des puits, peut se présenter sous des aspects assez différents, qui varient surtout avec les
10 régions d'où il provient; certaines sortes sont d'un brun noir opaque, très visqueux, d'une consistance voisine de celle de la mélasse, ou même solides à la température ordinaire; d'autres sont des liquides très fluides, incolores ou jaunâtres. Entre ces deux formes extrêmes, on ren-
15 contre une gamme presque infinie de variétés intermédiaires, plus ou moins foncées et visqueuses. Toutes ces variétés ont une composition extrêmement complexe et sont constituées par des hydrocarbures divers (on en compte plus de cent de compositions chimiques dif-
20 férentes). D'une manière générale, ces hydrocarbures peuvent se classer en deux familles ou séries: les carbures paraffiniques (série du méthane) et les carbures dits naphténiques ou asphaltiques. La première de ces séries a pour terme inférieur un gaz, le méthane ou gaz des
25 marais; les termes supérieurs sont les paraffines du commerce, corps solides à la température ordinaire. Tous ces corps répondent à un même type de formule chimique et se rapprochent de plus en plus de l'état solide à mesure que croît leur poids moléculaire: c'est ainsi qu'après le
30 méthane, produit gazeux, viennent trois autres gaz, puis des produits liquides de moins en moins volatils (éthers de pétrole, essences, pétrole lampant), liquides huileux de

plus en plus épais, et, finalement, des produits pâteux (vaselines) et les paraffines solides. Dans la série naph-
ténique, on observe une progression analogue, dont les
derniers termes donnent par oxydation les substances
noires, solides ou demi-solides, qui portent le nom d'as- 5
phaltes. Certains pétroles contiennent, en outre, des
carbures appartenant à la famille de l'acétylène ou du
benzène et à d'autres séries organiques.

Les éléments gazeux que nous venons de mentionner
sont également présents dans les gisements pétrolifères; 10
une certaine quantité de gaz jaillit des puits avec le brut;
des dispositions sont prises pour capter ce gaz, qui peut
être employé fort utilement pour le chauffage, l'éclairage
ou la préparation d'essences très volatiles.

Le pétrole brut contient, en outre, diverses impuretés 15
arrachées au sol ou entraînées mécaniquement: terre,
sable et, fréquemment, une certaine quantité d'eau. Au
sortir des puits, le brut est emmagasiné dans de vastes
réservoirs cylindriques, où une grande partie des im-
puretés se déposent; une partie de celles-ci (et spéciale- 20
ment l'eau) restent en suspension à l'état d'émulsions
très stables. Ces émulsions peuvent être séparées en leurs
éléments par l'emploi d'appareils séparateurs centrifuges.
Ces mêmes appareils peuvent servir à déshydrater directe-
ment les pétroles très chargés d'eau et particulièrement 25
d'eau plus ou moins salée.

Il faut maintenant acheminer le pétrole brut sur la
raffinerie, où il sera convenablement traité pour le séparer
en ses divers éléments destinés à la consommation. Or,
les raffineries sont généralement placées au voisinage de 30
la mer ou des grands centres de trafic ferroviaire, souvent
à plusieurs centaines de kilomètres des régions où se

trouvent les gisements; dans ces conditions, l'emploi de wagons-citernes serait extrêmement dispendieux. Ce transport s'opère aujourd'hui exclusivement au moyen de canalisations souterraines, qui ont l'avantage de pouvoir
5 suivre le chemin le plus court entre les deux points à relier, sans avoir à s'inquiéter des considérations topographiques. Ces canalisations sont des réseaux de conduites en fonte ou en acier, dont le diamètre varie de 5 à 25 centimètres, et le brut y est refoulé au moyen de puissantes pompes
10 actionnées par moteurs. En raison des pertes de charge, il est nécessaire d'intercaler, de distance en distance, des stations de relais, comportant un certain nombre de citernes et une installation de pompes. Les canalisations sont placées à travers champs, faiblement enterrées en
15 général, et l'on n'hésite pas à leur faire traverser les rivières, canaux, chemins de fer, etc., au moyen de passerelles légères ou encore par des lignes de câbles porteurs auxquels on les suspend.

Le pétrole brut arrivant à la raffinerie est mis en réserve
20 dans de grands réservoirs métalliques qui constituent le volant nécessaire à la fabrication. De là, les divers pétroles seront acheminés sur les appareils de séparation ou de fractionnement, dont voici le principe fondamental:

Si l'on élève progressivement la température du pétrole,
25 mélange complexe des divers hydrocarbures, ceux-ci se vaporiseront successivement dans l'ordre des poids moléculaires croissants: les plus fluides d'abord, puis d'autres plus épais, etc. En surveillant convenablement les températures de chauffe, on pourra donc isoler et conden-
30 ser séparément les fractions successives ayant des points d'ébullition différents. Mais il serait impossible de séparer industriellement, par une telle méthode, tous les

hydrocarbures, les points d'ébullition ne variant que de quelques degrés entre deux homologues successifs; d'autre part, il s'agit ici, non pas de séparer tous les constituants, mais d'isoler les groupes ayant des propriétés industrielles nettement distinctes. En pratique, on commence toujours 5 par séparer le produit en cinq groupes ou fractions bien déterminées:

L'essence brute (dont le point d'ébullition est au-dessous de 150°);

Le lampant brut (dont le point d'ébullition varie entre 150° et 300°);

Une huile combustible spéciale (point d'ébullition: $300-320^{\circ}$); cette huile s'emploie comme pétrole lampant de sûreté pour les lampes de signaux de chemin de fer; les qualités qui n'ont pas le pouvoir éclairant convenable 15 pour cette application, constituent le combustible pour moteurs Diesel et semi-Diesel.

Puis viennent les huiles de graissage pour machines, qui forment une seule fraction recueillie en bloc dans cette distillation.

20

La distillation est généralement arrêtée quand les 85% environ de l'huile brute ont passé. Suivant la nature du brut, le résidu de l'opération est, soit une huile foncée très épaisse, susceptible d'être employée au graissage, soit un résidu de nature asphaltéuse, qui, suivant sa teneur en 25 bitume, sert comme huile combustible (c'est le mazout, si employé au chauffage des fours), ou pour la fabrication de l'asphalte artificiel.

Il n'y a pas, à proprement parler, de déchet dans cette fabrication en dehors des pertes inévitables par manuten- 30 tion ou par fuites, et de la formation d'une faible proportion de coke léger sur les parois de l'appareil de chauffe,

par suite de la décomposition des hydrocarbures. Ce coke, détaché ultérieurement des parois de l'appareil, se vend dans l'industrie sous le nom de coke de pétrole.

L'appareil servant au traitement sera donc, en quelque
5 sorte, un simple alambic muni de dispositifs permettant la séparation des fractions (fig. 4). Ces alambics sont de très grandes dimensions: le vase évaporatoire, de forme cylin-

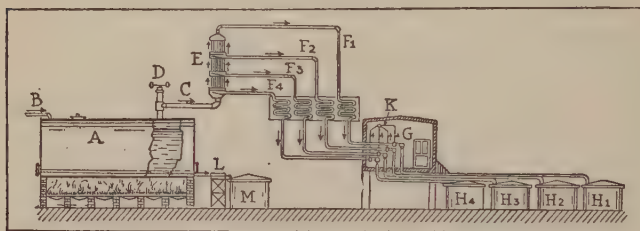


FIG. 4. — SCHÉMA DU PREMIER FRACTIONNEMENT DU PÉTROLE BRUT

Le pétrole brut arrive par B dans la chaudière A, munie d'une soupape de sûreté D. Les vapeurs montent dans la colonne E et se condensent à différents niveaux suivant leur volatilité; la condensation s'achève dans les tuyauteries et réfrigérants à eau F G (F₁, essence; F₂, pétrole lampant; F₃, gas oil; F₄, huiles de graissage), et les fractions sont recueillies en H₁ H₂ H₃ H₄. Les gaz de distillation sont recueillis en K, et le résidu est transvasé dans un réservoir spécial M, après avoir traversé le réfrigérant L.

drique, atteint fréquemment une capacité de 70 à 80 mètres cubes. Il est généralement chauffé à feu nu; les vapeurs se
10 rendent à un serpentin condenseur refroidi, soit directement, soit après avoir traversé une colonne de fractionnement, analogue dans son principe aux colonnes rectificatrices utilisées dans la distillation de l'alcool. Un
type de colonne fréquemment usité permet, par un simple
15 refroidissement à l'air, de séparer les vapeurs en quatre

fractions de volatilités différentes, qui sont recueillies à part, les portions les plus lourdes retournant à la chaudière. Les vapeurs de la fraction essence traversent les faisceaux refroidis sans y être condensées, sortent à la partie supérieure du système et se rendent à un serpentín à bain 5 d'eau, où s'effectue la condensation; de même, les fractions lampant, « gas oil », huiles de graissage, quittent la colonne à des niveaux de plus en plus rapprochés de la chaudière et se rendent de même à d'autres serpentins distincts. Le liquide condensé dans chaque serpentín est conduit, par 10 une tuyauterie, à un réservoir de stock distinct. Mais, quand la température s'élève dans la chaudière, il vient un moment où la fraction essence, par exemple, a distillé en totalité; la température du haut de la colonne s'élève alors, et le lampant passerait, en l'absence d'autres mesures, 15 dans le serpentín condenseur affecté à l'essence. Pour éviter cet inconvénient, la sortie de chaque réfrigérant aboutit à une sorte d'éprouvette ou lanterne vitrée, et, au moyen de rampes et de jeux de robinets appropriés, on peut modifier les connexions entre serpentins et réservoirs 20 au fur et à mesure que la distillation progresse. Tous ces regards vitrés et les robinets sont groupés sur une plate-forme, à portée de l'ouvrier préposé à la conduite de la distillation. Celui-ci peut surveiller l'opération par l'aspect (coloration et viscosité) du liquide, observé à travers 25 chaque regard, et par des mesures rapides de densité faites sur des échantillons prélevés aux éprouvettes.

En fin d'opération, on transvase le résidu dans un réservoir spécial, en lui faisant traverser d'abord un serpentín à bain d'eau pour le refroidir, faute de quoi il prendrait 30 immédiatement feu au contact de l'air.

On peut aussi distiller en continu, avec des dispositions

quelque peu différentes: l'appareil comporte alors quatre ou cinq chaudières, dont chacune est maintenue en permanence à la température maximum correspondant à l'une des classes de produits; le pétrole brut est injecté dans la
5 première chaudière (150°) et, circulant de façon continue, se rend successivement dans les suivantes: au sortir de la chaudière 1, il parvient, dépouillé de son essence, dans la chaudière 2, où il perdra de même sa fraction lampante, et ainsi de suite. Les appareils de condensation employés
10 seront ici beaucoup plus simples.

Quant aux gaz en dissolution dans le brut, ils sont, dans les deux cas, aspirés par des pompes à vide et liquéfiés, soit par compression, soit par dissolution.

Les divers groupes de produits ainsi obtenus sont en-
15 suite soumis à des traitements d'épuration ou de raffinage. Le pétrole brut contient fréquemment du soufre combiné. Il contient en outre des composés des carbures éthy-
léniques et autres, qui doivent être éliminés pour certaines applications. Une teneur excessive en soufre peut en-
20 traîner, dans les lampes, la formation d'anhydride sulfureux ou d'acide sulfurique, qui tend à faire charbonner les mèches. De même, la présence du soufre est nuisible dans les combustibles pour moteurs. Les composés éthy-
léniques sont instables et nuisent à la qualité de certains
25 produits, entre autres des huiles de graissage, en raison de leur oxydabilité. Il faut donc éliminer ces corps indésirables. En outre, il est nécessaire de séparer les produits de nature différente encore mélangés dans chacune des fractions précédemment obtenues. La fraction es-
30 sences contient aussi bien l'éther de pétrole que les essences volatiles d'aviation et de tourisme, etc. De même pour les classes pétrole lampant et huiles de graissage.

Chacune des fractions est donc fractionnée à son tour, d'après des principes analogues aux précédents, mais au moyen d'appareils différents suivant la nature des produits. Les essences sont redistillées dans des alambics chauffés à la vapeur; quant aux huiles de graissage, dont le point d'ébullition peut atteindre et dépasser 350° sous la pression atmosphérique, elles tendent à se décomposer à cette température. On a tout intérêt à réduire au minimum cette décomposition. On peut, pour cela, soit effectuer la distillation dans le vide, soit employer des appareils spéciaux, où l'on injecte de la vapeur surchauffée au sein du liquide, afin d'accélérer l'entraînement des vapeurs. En effet, la décomposition s'effectue principalement au sein de la masse de vapeur en contact avec les parois chauffées. Le « gas oil » ne subit pas de raffinage.

Les essences et pétroles lampants se raffinent par épuration à l'acide sulfurique; ce corps forme avec les substances à éliminer des composés insolubles, qui se précipitent sous forme de boues. L'opération s'effectue dans de très vastes récipients ou agitateurs, véritables tours en tôle garnies intérieurement d'un doublage de plomb, métal inattaquable à l'acide sulfurique. On brasse énergiquement la masse au moyen d'un jet d'air comprimé arrivant par la pointe du cône qui termine le récipient. Puis on laisse reposer quelque temps, on soutire les dépôts, et on lave de même à l'eau, puis avec une lessive alcaline qui enlève les dernières traces d'acide (ce dernier traitement est souvent omis). Les essences sont généralement traitées avant redistillation; les huiles lampantes sont, au contraire, distillées d'abord, puis raffinées à l'acide et finalement filtrées par passage sur de l'argile (terre à foulon) placée dans d'énormes filtres cylindriques verticaux.

Les huiles de graissage peuvent être traitées à l'acide, mais ce mode d'épuration n'est pas sans inconvénient, car il est peu désirable de soumettre l'huile à l'action d'un alcali; de sorte que l'acide sulfurique risque de n'être pas
5 entièrement éliminé, au grand détriment des mécanismes lubrifiés par ces huiles. Actuellement, une grande partie des huiles, et en particulier toutes les huiles de haute qualité, sont raffinées exclusivement par des filtrations successives sur la terre à foulon ou le noir animal pulvérulent.
10 Les filtres sont analogues aux précédents et peuvent avoir des capacités de l'ordre de 60 mètres cubes. La filtration éclaircit la couleur de l'huile, supprime radicalement toute impureté en suspension et élimine les éléments nuisibles au moins aussi bien que l'acide, sans nuire en rien à la
15 parfaite neutralité du lubrifiant.

Tous ces traitements sont contrôlés en cours d'opération et à la fin du travail par des épreuves appropriées. Les principales caractéristiques font l'objet de mesures continues; telles sont la densité, le point d'inflammation
20 des vapeurs, la couleur, l'acidité, la teneur en soufre (en ce qui concerne les huiles combustibles et essences); les huiles de graissage doivent être soumises à toute une série d'essais, physiques, chimiques et mécaniques, appropriés aux conditions particulières à remplir par chaque type de
25 produit; détermination de la viscosité des matières goudonneuses en suspension, du carbone résiduel dans la décomposition par la chaleur, etc. Seule, une attention de tous les instants permet au producteur de livrer des produits toujours bien uniformes, chose indispensable pour
30 le consommateur.

Les produits finis sont mis en réserve dans des réservoirs, qu'ils ne quitteront plus que pour être transvasés dans les

emballages d'expédition. Dans les pays producteurs, les livraisons aux marchands de gros se font très souvent par wagons-citernes ou camions-citernes. Les chemins de fer et autres gros consommateurs opèrent de même pour les huiles de graissage, si le tonnage est assez important (les wagons-citernes américains ont couramment des capacités 5 de 200 à 380 hectolitres). Au contraire, tous les produits destinés à être vendus ou exportés en fûts ou bidons sont entièrement emballés à la raffinerie même. La plupart des compagnies fabriquent elles-mêmes leurs fûts, bidons et 10 autres emballages, au moyen de machines très perfectionnées. Tous ces récipients sont remplis au moyen de distributeurs-jaugeurs combinés avec des installations de transport automatique. Les orifices sont munis d'opercules soudés, sur le trajet même du tapis roulant qui les 15 conduit des appareils de remplissage à la salle où on les emballe pour l'expédition.

La paraffine et une partie des vaselines sont, lors de la première distillation, entraînées à l'état de solution avec la fraction de graissage, et en sont séparées par refroidisse- 20 ment: l'huile de graissage brute est placée dans de grandes cuves traversées par un serpentin où circule une saumure de chlorure de calcium refroidie par une machine frigorifique; la paraffine en solution se dépose et peut être séparée, soit par décantation, soit au moyen de séparateurs 25 à force centrifuge. Toutefois, cette paraffine est loin d'être pure; elle entraîne à peu près son poids d'huile et une certaine quantité d'impuretés, qui lui donnent une couleur noir verdâtre très différente du blanc immaculé de la paraffine du commerce. La masse est d'abord passée au 30 filtre-presse (placé dans une salle refroidie), qui expulse une partie de l'huile et donne des tourteaux ou gâteaux

de paraffine brute. Ces tourteaux sont placés dans des étuves de ressuage chauffées au-dessous du point de fusion de la paraffine; l'huile suinte peu à peu à travers les tourteaux et finit par s'éliminer. La paraffine est reprise, 5 liquéfiée, filtrée jusqu'à limpidité complète et finalement moulée en plaques.

Quant à la vaseline, elle se retrouve intégralement dans le résidu restant dans la chaudière à la fin de la première distillation de fractionnement des pétroles paraffiniques. 10 Ce résidu, très épais, est étendu d'éther de pétrole pour le rendre suffisamment fluide, puis la solution est soumise à la réfrigération; la vaseline se dépose, entraînant une certaine quantité du solvant; on peut séparer alors cette masse, qui est liquéfiée et filtrée. On récupère par distil- 15 lation le dissolvant, qui servira pour une opération ultérieure. De même, la fraction restée liquide dans le bac réfrigérant est filtrée, puis débarrassée de solvant par évaporation, et fournit une huile encore très épaisse, d'un vert ambré, qui passe au rouge presque opaque par filtra- 20 tions répétées. Cette huile est la base minérale des huiles servant au graissage des cylindres à vapeur. Elle peut aussi être mélangée à d'autres huiles en vue de les épaissir pour certaines applications.

Nous avons dit précédemment que l'asphalte est une 25 substance provenant de l'oxydation de certains pétroles; de ce fait, certains bruts, qui ont pu se trouver exposés à des actions oxydantes au sein du sous-sol, contiennent des matières asphalteuses en grandes quantités; l'asphalte étant tout le contraire d'un lubrifiant, ces huiles ne peuvent 30 fournir des huiles de graissage sans élimination préalable de ces matières. Cette élimination s'opère par la distillation même; suivant le degré d'oxydation du produit, le

résidu de distillation constitue déjà de l'asphalte, ou bien on le transforme en asphalte par un traitement spécial, qui comporte principalement une oxydation par injection d'air chaud sous pression.

Il n'est pas rare de voir extraire d'un même pétrole brut 5
deux ou trois types d'essences, plus ou moins volatiles et épurées, et autant de types de pétrole lampant. De même en ce qui concerne les vaselines. Mais, de toutes les classes de dérivés du pétrole, celle qui présente la plus grande diversité est incontestablement celle des produits lubrifi- 10
ants, où l'on rencontre toute la gamme des fluidités entre des produits relativement très mobiles (huile pour machines à écrire) et d'autres presque solides ou du moins pâteux (huiles à cylindre pour vapeur).

Dans chaque fluidité, le raffineur doit disposer de deux 15
ou trois types plus ou moins complètement raffinés, car le raffinage est forcément une opération onéreuse, qui se répercute sur le prix de vente du produit. En outre, des conditions de service différentes peuvent exiger l'emploi d'huiles de natures différentes, même pour une même 20
fluidité, et la liste des lubrifiants s'allonge encore. Nous ne pouvons entrer ici dans les détails relatifs au graissage, qui constitue à lui seul une véritable science très complexe. Bornons-nous à signaler que, compte tenu des
mélanges d'huiles animales ou végétales, ainsi que des 25
graisses industrielles, la liste des produits courants offerts au commerce par une raffinerie comprend rarement moins de cent cinquante articles différents.

Les huiles de graissage sont parfois additionnées, dans des proportions convenablement choisies, de certaines 30
huiles animales ou végétales (huiles de lard et de colza, en général), qui leur communiquent la propriété de pouvoir

s'émulsionner, comme il est nécessaire pour l'arrosage des machines-outils, pour le graissage des cylindres de machines à vapeur et de certains autres organes des machines marines, et dans certaines applications spéciales de l'industrie textile. Ces mélanges, appelés, suivant leur nature, huiles compound ou huiles solubles, sont fabriqués par les raffineries de pétrole. Il en est de même des produits appelés graisses consistantes que tous connaissent, et qui sont en réalité des mélanges intimes d'une huile minérale et d'un savon de soude ou de chaux, qui forme en quelque sorte une masse spongieuse servant de support à l'huile; celle-ci est libérée par suite des températures ou des pressions éprouvées par le produit en cours de service. Le matériel servant à la fabrication des graisses n'est pas très compliqué, mais il est cependant assez important. Le savon servant de base se prépare dans de grandes cuves à agitateurs, chauffées à la vapeur, en faisant réagir la soude ou la chaux sur une huile ou une graisse animale ou végétale. Pendant que la masse est encore chaude, on ajoute progressivement l'huile minérale en agitant constamment. Le produit terminé est filtré et soutiré pendant qu'il est encore chaud. Cette fabrication exige beaucoup de soin et d'attention, car, si les formules sont parfaitement déterminées, l'expérience des préparateurs joue encore un rôle important dans la mise en œuvre des ingrédients. On opère généralement sur des charges de plusieurs tonnes, et une erreur de manipulation peut conduire à la perte totale d'une charge; si l'huile vient à se séparer du savon, il est impossible de l'y incorporer à nouveau. La graisse une fois solidifiée est homogénéisée par malaxage dans un broyeur à cylindres. La gamme des graisses n'est pas moins étendue que celle des huiles

minérales: il en est qui sont fluides à la température ordinaire, alors qu'à l'autre bout de la série on trouve des produits extrêmement durs qui, dans certaines industries, s'emploient sous forme de pains ou briquettes.

Cet exposé sommaire suffit à montrer l'importance de 5 l'industrie des dérivés du pétrole et son caractère éminemment scientifique. Les diverses phases des traitements dérivent d'un processus rigoureusement déterminé à l'avance. Le rôle du laboratoire est ici extrêmement important, non seulement au point de vue des recherches, 10 mais pour le contrôle incessant des qualités et propriétés des divers produits obtenus. Aux essais intéressant le consommateur, s'ajoutent d'autres essais uniquement destinés à renseigner le raffineur sur le degré d'efficacité des traitements intermédiaires. Enfin, la plupart des raf- 15 fineries comportent encore des laboratoires d'essais mécaniques des lubrifiants, permettant la mise au point des perfectionnements dus aux laboratoires de recherches.

La Science et la Vie, Paris

BIOLOGIE

VII. La Biologie

Pendant bien longtemps, les études sur les êtres vivants n'ont guère mérité d'être considérées comme formant un chapitre de la *Science*. Le nom plus modeste d'*histoire naturelle* suffisait. Les *naturalistes* avaient surtout pour
5 objet la description des formes des êtres vivants envisagés à l'état adulte; quelques-uns d'entre eux se préoccupaient, de temps à autre, du fonctionnement d'un organe séparé, envisagé comme un rouage d'une machine, et c'était là l'embryon de ce qu'on appelle aujourd'hui la *physiologie*;
10 mais les plus nombreux parmi ceux qui s'adonnaient à l'observation de la vie s'arrêtaient à l'étude des formes adultes ou *morphologie*.

Le nombre des formes des espèces vivantes étant colossal, — il se chiffre par millions! — il fut de bonne
15 heure nécessaire que les chercheurs s'entendissent pour les cataloguer d'une manière commode, et c'est pourquoi les premiers travaux d'histoire naturelle sont des travaux de *classification*. Bien des gens s'imaginent encore, de nos jours, que les sciences naturelles se bornent à la classifi-
20 cation des formes adultes, et il existe, au dix-neuvième siècle, de nombreux naturalistes descripteurs n'ayant pas d'autre objectif.

La méthode naturelle de classification des plantes de Bernard de Jussieu et de son neveu, Antoine-Laurent de
25 Jussieu marque, au dire de Cuvier, une étape aussi im-

portante dans l'histoire de la botanique, que la chimie de Lavoisier dans les sciences de l'expérience. Plusieurs savants entreprirent, presque en même temps, de donner une classification au règne animal. Trois noms brillent, à cette époque, d'un éclat incomparable; ce sont ceux de Lamarck, d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire et de Cuvier. Ces hommes, vraiment grands, ne purent pas se résoudre à n'être que de simples collectionneurs, et chacun d'eux, en dehors de ses travaux de classification, se proposa de trouver, dans le domaine de l'histoire naturelle, des lois comparables à celles qui existent dans les sciences exactes; après eux, il fut possible de parler de *sciences* biologiques. A vrai dire, leur mérite, à ce point de vue, est très inégal. Cuvier établit la loi de la *corrélation* des formes, qu'il utilisa dans ses recherches ultérieures pour fonder la science appelée *paléontologie*. Étienne Geoffroy Saint-Hilaire essaya de démontrer l'*unité de composition organique*, au sujet de laquelle il entretint avec Cuvier des discussions restées célèbres; mais, malgré le mérite incontestable de ces deux hommes préoccupés de science vraie, Lamarck les dépasse de toute sa hauteur, car il a, du premier coup, découvert les lois fondamentales de la vie et fondé la science nouvelle qui mérite de s'appeler *Biologie*, parce qu'elle contient les lois les plus générales susceptibles d'être appliquées à tous les animaux et à tous les végétaux. Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire ont été des chefs de file, et leurs écoles se sont perpétuées avec éclat pendant tout le dix-neuvième siècle, mais quel que soit la gloire justement attachée à leur nom, cette gloire disparaît devant celle dont s'entoure la mémoire de notre grand Lamarck, le père de la *Biologie*.

En étudiant les diverses formes des animaux vivants,

et en les comparant à celles des animaux anciens dont les restes nous ont été conservés à l'état fossile, Lamarck, par une intuition géniale, dont l'histoire de l'humanité contient bien peu d'exemples, a compris que la *forme* des êtres vivants est, comme toutes les manifestations de leur activité, *un résultat* de leur fonctionnement. Un animal d'aujourd'hui est ce qu'il est, à cause de ce qui s'est passé dans la lignée dont il découle, depuis son ancêtre le plus lointain. Il suffit d'observer un être vivant sans parti pris, pour constater qu'il se construit en vivant; cela est de toute évidence; Lamarck a compris que la forme de l'espèce actuelle dépend du fonctionnement passé de la lignée, comme la forme de l'individu résulte du fonctionnement vital de l'individu. Ainsi, il n'y a plus deux choses à considérer, la forme et le fonctionnement; il n'y a pas deux sciences distinctes, la morphologie et la physiologie, mais il y a une science unique, la biologie, dans laquelle on voit les êtres à la fois mécanismes agissants et constructeurs de leur propre mécanisme.

On a donné le nom de *transformisme* à la partie du système de Lamarck, qui voit dans les formes actuelles des êtres un résultat de l'histoire de leur lignée. Mais en même temps qu'il émettait cette théorie admirable, qui eût suffi à lui assurer une place dans le panthéon de l'humanité, Lamarck donnait les lois les plus générales qui régissent les rapports du fonctionnement avec la construction des formes, de la physiologie avec la morphologie. Lamarck n'est pas seulement le fondateur de la théorie transformiste, il est le père de la Biologie, à laquelle il a donné l'unité qui en fait véritablement une *science*. Les deux ouvrages fondamentaux de Lamarck, sont la *Philosophie zoologique* (1809), et l'*Histoire naturelle des ani-*

maux sans vertèbres (1815-1822); ces deux ouvrages marquent une date mémorable dans l'histoire du génie humain.

Lamarck ne fut pas compris de son temps; il fut même oublié pendant de longues années, jusqu'à ce que Darwin 5 eût mis le transformisme en honneur. Aujourd'hui la gloire de Lamarck égale celle de Descartes et de Lavoisier, mais cet homme immense n'a pas eu d'influence sur la science française du dix-neuvième siècle. La morphologie et la physiologie sont restées pendant près de cent ans 10 des sciences séparées, quoique Lamarck eût compris et expliqué le retentissement du fonctionnement sur la construction des organismes et la formation des espèces.

La Science française, Larousse, Paris

VIII. Les Travaux de Pasteur et leurs Conséquences industrielles

L'œuvre immense de Pasteur a eu un retentissement si considérable sur toutes les parties de la science biologique, 15 qu'il devient impossible aujourd'hui d'être biologiste sans dériver de Pasteur, au moins par un côté. Malgré la valeur incontestable de ses autres travaux, le plus grand mérite de Pasteur a été de chasser le mystère d'un grand nombre de phénomènes auxquels on ne trouvait, avant 20 lui, aucune cause matérielle. C'est très petit, un être vivant unicellulaire; cela ne se voit pas et ne saurait se peser; mais quand un *microbe* tombe dans un milieu favorable à sa vie, il se multiplie par sa vie même, il devient légion, et cause alors des ravages hors de propor- 25 tion avec la dimension de l'élément initial qui est entré

en jeu. Ainsi un seul microbe, infiniment petit, peut suffire à déterminer une *fermentation* qui altère profondément certaines substances organiques, ou une *maladie* qui met hors d'usage le mécanisme admirable d'un animal
5 supérieur. En mettant en évidence le rôle des microbes dans les fermentations et les maladies, Pasteur a accompli dans la science une révolution à laquelle aucune autre n'est comparable, quant à l'importance de ses résultats. Il y a encore d'autres domaines dans lesquels s'est fait
10 sentir profondément l'influence pastoriennne, en particulier, l'agriculture et l'étude des maladies des plantes.

Non seulement Pasteur a ouvert un champ prodigieux d'investigation en faisant connaître le rôle des micro-organismes vivants dans les maladies et les fermentations;
15 il a en outre fait les premiers pas, et les plus décisifs peut-être, dans la voie de la guérison des maladies microbiennes. En ouvrant la voie de l'*immunisation* des animaux contre les maladies, Pasteur n'a fait qu'appliquer le principe de Lamarck, de l'acquisition des caractères par
20 l'habitude.

Les applications des méthodes pastoriennes offrent à l'industrie un champ pour ainsi dire illimité. Les industries qui reposent sur la fermentation alcoolique ne sont pas les seules qui aient bénéficié des découvertes de
25 Pasteur. Depuis que Pasteur nous a enseigné des procédés de travail précis, capables de conduire rigoureusement et presque mathématiquement au résultat désiré, le nombre des industries fondées sur des actions microbiennes va constamment en croissant.

30 L'industrie laitière a largement bénéficié de ces méthodes. L'acidification de la crème, qui représente une nécessité pour la production d'un beurre fin et conservable, et qui

était autrefois abandonnée au hasard, peut être réglée actuellement par l'emploi de ferments lactiques déterminés, dont la semence se trouve naturellement présente dans les crèmes des régions beurrières les plus renommées. La maturation des fromages est aussi le résultat d'un 5 travail microbien, dans lequel la dégradation des matières hydrocarbonées et des matières azotées, contenues dans le lait caillé qui sert de matière première, résulte de l'action simultanée ou successive de diverses espèces.

La fabrication des conserves alimentaires doit aux 10 travaux de Pasteur une sécurité de travail qu'elle ne possédait pas auparavant. L'influence de la réaction du milieu sur la facilité avec laquelle une matière organique peut être rendue inaltérable par chauffage, joue ici un rôle capital, et le traitement particulier qu'exige la fabri- 15 cation de chaque genre déterminé de conserves s'inspire directement des observations précises que nous devons à Pasteur.

Ce sont encore les recherches de Pasteur qui nous ont appris que, dans toute fermentation, il se forme des 20 produits principaux qui caractérisent cette fermentation, mais que certains composés accessoires, c'est-à-dire formés en petite quantité, prennent également naissance, et qu'ils peuvent jouer un rôle très important dans la saveur du liquide fermenté. L'exemple le plus frappant de ce rôle 25 nous est fourni par la glycérine et l'acide succinique, produits de la fermentation alcoolique inconnus avant Pasteur, et qui prennent une part très marquée dans la saveur du vin. La recherche des causes de variation de ces produits accessoires a conduit récemment à préciser le 30 mécanisme chimique profond de la fermentation alcoolique, et a permis de modifier le mode de fonctionnement de la

levure de manière à faire de la glycérine le produit principal de la fermentation. C'est là un des exemples les plus remarquables des modifications que le changement de la réaction du milieu peut apporter dans l'action biochimique
5 des microorganismes.

Un autre exemple qui a également contribué à élucider le mécanisme de la fermentation a été fourni par la production d'acide pyruvique dans la vie de la levure en milieu maintenu neutre.

- 10 Nombre de produits élaborés par les végétaux constituent d'importantes matières premières de l'industrie. Mais, à côté de ses produits, la cellule végétale en élabore beaucoup d'autres qui n'ont pas été utilisés jusqu'ici et qui restent sans valeur. Il faut cependant, pour le maintien
15 de la vie à la surface du globe, que cette matière organique ne soit immobilisée que momentanément, et sa transformation dans les éléments simples qui la constituent représente précisément le rôle des infiniment petits dans le monde. L'avenir des industries biochimiques, l'organi-
20 sation de fabrications nouvelles, résident dans une étude approfondie du mécanisme de destruction des matières organiques inutilisées jusqu'ici, car cette étude peut conduire à une production plus économique de corps déjà connus, ou à la formation de produits nouveaux, non
25 encore obtenus industriellement. La condition fondamentale pour qu'une entreprise de ce genre réussisse, c'est avant tout l'observation stricte des principes et des méthodes que Pasteur nous a enseignés.

MÉTALLURGIE

IX. La Géologie

La *Géologie* est la science de la terre; elle a pour but d'étudier la structure de l'écorce solide du globe, la composition chimique et minéralogique de chacune des roches, l'ordre de superposition des couches, et les causes qui ont présidé à la formation des dépôts qui se succèdent en si grand nombre. Elle comprend deux branches distinctes: la *Géognosie*, qui n'est que l'art d'étudier les faits relatifs à la succession des dépôts qui constituent la croûte terrestre, et la *Géogénie*, qui réunit, compare et groupe ces faits, de manière à en déduire des théories sur les causes qui les ont déterminés.

Outre l'attrait que présente son étude, elle a une utilité réelle et incontestable; qu'il nous suffise de rappeler l'importance des études géologiques pour l'ingénieur des mines, pour l'entrepreneur des puits forés ou artésiens, pour l'ingénieur des ponts et chaussées, qui, au talent de constructeur doit joindre celui de discerner les meilleurs matériaux à employer, et les localités qui doivent les lui procurer. Enfin, l'agriculteur, l'architecte, l'ingénieur géographe et l'officier d'état-major peuvent tirer de la connaissance de certains faits géologiques des lumières propres à les diriger dans l'exercice de leur état.

La première chose à recommander à celui qui commence l'étude de la Géologie est de se familiariser avec les termes employés par cette science. Cette étude préparatoire

achevée, le jeune géologue devra chercher à reconnaître les substances qui entrent dans la composition des roches soit comme élément essentiel, soit comme élément accessible; il sera donc utile qu'il ait des notions générales de
5 minéralogie, afin de pouvoir reconnaître et différencier les roches à la simple vue. Cela lui deviendra facile et familier au bout de quelques jours, car le nombre des substances élémentaires qui entrent dans la composition des roches, considérées exclusivement au point de vue
10 géologique, est relativement très peu nombreux.

Depuis la couche arable jusqu'aux roches les plus profondément enfouies, toute la substance terrestre se compose de trois éléments principaux: la silice, le carbonate de chaux ou pierre calcaire, et l'alumine ou argile. Toute
15 terre qui renferme ces trois éléments, en proportions à peu près égales, est éminemment fertile. Quand l'un d'eux vient à faire défaut, la fertilité du sol diminue d'une manière sensible. Si quelque part, l'un d'eux seulement subsiste ou prédomine d'une manière exagérée, la végé-
20 tation languit.

La *silice* est une pierre à cassure vitreuse, translucide, très dure, rayant le verre et faisant feu sous le briquet. Cristallisée, elle porte le nom de quartz; non cristallisée, ceux de pierre meulière, de silex, de pierre à fusil. C'est
25 elle qui, réduite en grains plus ou moins fins, constitue le sable des dunes, celui de la mer, etc.

L'*alumine*, qui n'est autre chose que l'oxyde, c'est-à-dire que la rouille de l'aluminium, se rencontre très rarement à l'état de pureté dans la nature. Mêlée à du sable
30 et à d'autres matières, c'est elle qui constitue l'argile, substance plastique employée pour la fabrication de la poterie, des tuiles et des briques.

La *pierre calcaire* est, de toutes les substances minérales, la plus répandue sur la surface de la terre. Son caractère propre est de donner par la calcination, de la chaux vive, qui paraît n'être autre chose que la rouille d'un métal, le calcium. Nous aurions pu en dire autant de la silice, qui 5 est un oxyde de silicium. La pierre calcaire, qui porte aussi le nom de carbonate de chaux, parce qu'elle est le produit de la combinaison de l'acide carbonique et de la chaux, se trouve quelquefois en cristaux incolores, transparents, de formes variées mais, le plus souvent, elle forme 10 des roches plus ou moins dures et d'une texture plus ou moins compacte. C'est de ces roches que sont extraits les pierres de taille qui servent à la construction de nos édifices. Quelquefois les parties qui constituent ces pierres ont si peu de cohésion entre elles qu'elles se séparent sous 15 la simple pression des doigts. Dans ce cas, le carbonate de chaux prend le nom de craie.

Combiné avec l'argile, le carbonate de chaux donne naissance aux marnes, substances terreuses qui se distinguent en marnes argileuses et en marnes calcaires, 20 suivant que l'un ou l'autre de leurs deux éléments constitutifs se trouve en prédominance.

Outre les trois éléments argileux, calcaire et siliceux qui sont la matière dont la terre est principalement formée, il existe encore un grand nombre de substances qui entrent 25 aussi dans sa composition. Parmi elles, nous nous bornerons à mentionner les suivantes :

Feldspath. — C'est une matière cristalline, blanche et quelquefois colorée, résultant de la combinaison chimique de la silice avec l'alumine, et la potasse ou la soude. 30 Dans certains lieux on rencontre des feldspaths en décomposition qui ont perdu leur soude et leur potasse,

ainsi qu'une partie de leur silice. Ils forment alors une espèce de terre blanche presque entièrement composée d'alumine pure. Cette terre, connue sous le nom de kaolin, est employée à la fabrication de la porcelaine.

- 5 *Magnésie*. — C'est une terre blanche, onctueuse au toucher, qui à elle seule ne constitue pas de roches, mais qui entre comme élément dans un certain nombre d'entre elles.

Le *talc* est une substance blanchâtre, verdâtre ou
10 grisâtre, douce au toucher comme le savon, assez tendre pour être rayée par l'ongle, se présentant en lames feuilletées et à demi transparentes.

Le *mica* peut être considéré comme une combinaison du talc avec l'alumine, le fer, la chaux, la potasse et quelques
15 autres substances. Il affecte la forme de lames feuilletées, élastiques, transparentes et nacrées. Quand ces lames sont incolores et d'une certaine grandeur, elles peuvent servir à remplacer le verre à vitre, et ont sur lui l'avantage d'être beaucoup moins fragiles. On trouve des micas de
20 toutes les couleurs et très souvent en paillettes, que les habitants des montagnes prennent pour des parcelles d'or ou d'argent.

Granit. — Cette roche, une des plus importantes, en raison du rôle qu'elle joue dans la nature, se compose de
25 quartz et de mica, non pas combinés, mais seulement aglutinés par une pâte feldspathique, le plus souvent de couleur grise ou rose. Le mica s'y présente ordinairement en paillettes souvent de couleur noire, et le quartz en grains plus ou moins arrondis. Quand ces substances
30 semblent former des feuillets assez minces, la roche prend le nom de *gneiss*, et celui de *schiste micacé* ou de *micaschiste* quand, en outre, le feldspath vient à manquer.

Comme les granits, les *porphyres* sont des masses feldspathiques, le plus souvent composées d'orthose, mais, au lieu de quartz et de mica, ce sont des cristaux d'albite qu'elles renferment. Ces roches, d'une grande dureté et susceptibles d'un beau poli, se distinguent, par les couleurs 5 qu'elles doivent à la présence de quelques oxydes métalliques, en porphyres rouges, verts, noirs, etc.

Les granits et les porphyres, ainsi que d'autres roches analogues, se distinguent des roches calcaires par un caractère qu'il importe de ne pas perdre de vue. Toutes les 10 roches calcaires sans exception se composent de *strates*, c'est-à-dire de bancs superposés et souvent même séparés les uns des autres par des couches de sable ou d'argile. Les granits et porphyres, au contraire, affectent constamment la structure massive et ne présentent jamais rien qui 15 puisse donner l'idée de couches ou de bancs.

Poudingues. — On donne ce nom à des amas souvent très considérables de galets arrondis provenant de roches de diverses natures, et réunis entre eux par un ciment argileux ou calcaire, souvent d'une grande dureté. Lors- 20 que les galets dont ils se composent, au lieu d'être arrondis, sont brisés et anguleux, les poudingues portent le nom de *brèches*.

X. La Métallurgie du Fer

État naturel. — Le fer ne se trouve à l'état naturel que sous forme de composés plus ou moins mélangés de 25 matières terreuses. Ces composés sont désignés sous le nom de *minerais* quand ils sont assez riches pour qu'on puisse en extraire industriellement le fer; les matières

pierreuses et terreuses qui accompagnent les minerais constituent la *gangue*.

Les principaux minerais de fer sont des oxydes et des carbonates.

- 5 On trouve en Suède et en Norvège des masses énormes d'*oxyde magnétique* de fer, Fe^3O^4 ; c'est le plus riche de tous les minerais de fer, et on en retire des produits très estimés. On l'a appelé oxyde magnétique parce que certains échantillons ont la propriété d'attirer la limaille
10 de fer; on les désigne sous le nom de pierres d'aimant ou aimants naturels, par opposition avec les aimants artificiels fabriqués en acier trempé dur.

- Dans l'île d'Elbe on trouve de beaux échantillons de *sesquioxyde de fer*, Fe^2O^3 , ou *fer oligiste*: ce même oxyde,
15 plus ou moins pur, anhydre ou hydraté, se trouve un peu partout en masses rouges, jaunes, brunes (*sanguines*, *ocres*, *limonites*).

- En Angleterre on trouve en grandes quantités du *carbonate de fer*, CO^3Fe , qui est aussi un excellent minerai et qui
20 a l'avantage de se trouver à proximité de mines de houille.

- Traitement mécanique des minerais.** — Un premier triage à la main permet souvent d'éliminer, dans la mine même, les morceaux qui ne contiennent pas sensiblement de minerai. Les portions riches en minerai sont mises à
25 part. Les portions moyennes sont broyées sous des pilons ou entre les mâchoires de puissantes machines, dites concasseurs, et soumises à l'action d'un courant d'eau: les parties pierreuses et terreuses, moins denses, sont emportées par l'eau, tandis que le minerai, plus dense, est à
30 peine entraîné. Quelques broyages et lavages successifs permettent une séparation suffisante, mais toujours incomplète, du minerai et de sa gangue.

Traitement chimique des minerais. — En principe, il suffit de *chauffer les minerais de fer avec du charbon*: le carbonate est décomposé en dégageant du gaz carbonique et en laissant un oxyde, et tous les oxydes de fer sont réduits par le charbon ou par l'oxyde de carbone en 5 donnant du fer.

Pratiquement, la présence inévitable de la gangue complique beaucoup les opérations. Si on ne prenait aucune précaution, ainsi que cela se faisait autrefois, une partie notable du fer se combinerait avec la gangue, passerait 10 dans les scories à l'état de silicate de fer et serait perdue.

Pour éviter cette perte de fer, on ajoute au mélange de minerai et de charbon une matière (*fondant*) capable de se combiner plus facilement que le fer avec la gangue: la gangue étant en général argileuse, et par suite contenant 15 de la silice, on ajoute de la chaux sous forme de calcaire; cette chaux se combine avec la silice pour donner du silicate de chaux, et on évite ainsi toute perte de fer.

D'ailleurs le silicate de chaux qui se forme dans les appareils modernes est beaucoup plus difficile à fondre 20 que le silicate de fer qui se produisit autrefois; il faut pourtant que la gangue soit fondue, pour que les parcelles de fer puissent s'en séparer et se rassembler; on est donc conduit à chauffer beaucoup plus fort qu'autrefois, et à ces températures élevées (1 500°) le fer se transforme en 25 fonte au contact du charbon.

Le haut fourneau moderne, dans lequel s'effectuent ces réactions, ne fournit donc pas du fer, mais de la fonte, qui pourra être utilisée directement au moulage ou qui sera ultérieurement transformée en fer ou en acier. 30

Haut fourneau: fabrication de la fonte. — Le haut fourneau moderne (fig. 5) a une hauteur d'environ 20

mètres. Il est construit en briques réfractaires capables de supporter sans fondre les hautes températures qui y sont atteintes. Il présente à sa partie inférieure un creuset *c* dans lequel viendront s'accumuler les matières fondues. Un peu au-dessus débouchent des tuyères *t*,

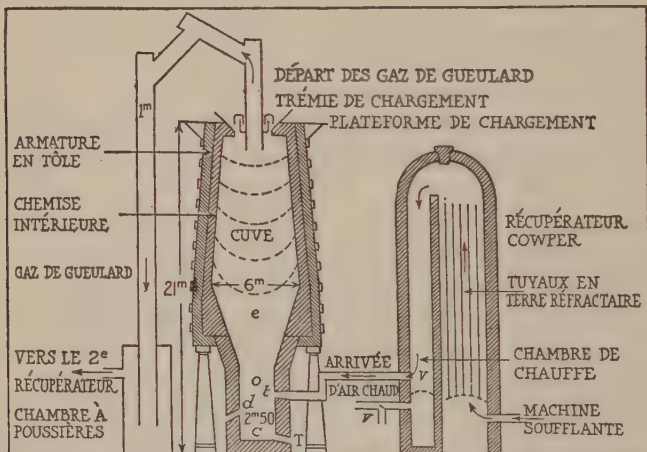


FIG. 5. — HAUT FOURNEAU AVEC RÉCUPÉRATEURS

c creuset, *T* trou de coulée, *d* sortie du laitier, *t* tuyère amenant l'air qui s'est chauffé en traversant le récupérateur de droite; la cuve est pleine de minerai, de charbon et de fondant; les gaz qui se dégagent par le haut sont conduits dans un second récupérateur, où on les fait brûler de façon à le chauffer fortement.

c'est-à-dire des tuyaux en fer qui amènent un fort courant d'air fourni par de puissantes machines soufflantes et destiné à permettre la combustion rapide du charbon.

L'orifice supérieur du haut fourneau est fermé de manière que les gaz produits ne se perdent pas dans l'atmosphère, ainsi que cela avait lieu autrefois, mais

soient conduits dans des chambres en briques, ou *récupérateurs*, où on les fait brûler en leur fournissant l'air nécessaire. Lorsqu'une des chambres est suffisamment chauffée, on envoie les gaz brûler dans une autre, tandis qu'on fait passer dans la première l'air destiné aux tuyères. 5 Le haut fourneau ne reçoit ainsi que de l'air déjà très chaud, à 700° par exemple: d'où une notable économie de combustible.

Une fois mis en marche, le haut fourneau reçoit, par la partie supérieure, des charges alternatives de *charbon*, de 10 *mineral* et de *fondant*, et il fonctionne sans arrêt jusqu'à ce qu'il ait besoin d'être réparé. On a d'abord employé le bois comme combustible, mais aujourd'hui on utilise presque partout le coke; la houille ne peut pas être employée directement, car elle renferme des pyrites dont le 15 soufre se combinerait avec le fer et donnerait des produits de mauvaise qualité; elle est donc préalablement transformée en coke. A mesure que le mineral descend, il se trouve porté à des températures de plus en plus élevées: il se dessèche; puis les carbonates sont décomposés; les 20 oxydes sont ensuite réduits et enfin le fer se transforme en fonte, qui fond facilement et s'accumule à la partie inférieure du creuset; au-dessus de la fonte se rassemble le *laitier* provenant de la fusion de la gangue sous l'action du fondant. Ce laitier incandescent coule par-dessus le 25 bord du creuset et vient se solidifier sur du sable ou dans de l'eau. Les laitiers sont utilisés pour l'empierrement des routes, pour la fabrication de pierres artificielles de grandes dimensions et aussi, parfois, comme engrais.

Quant à l'air amené par les tuyères, son oxygène est 30 d'abord transformé en gaz carbonique, qui, en s'élevant, rencontre du charbon incandescent; il est donc ramené à

l'état d'oxyde de carbone. Une partie de cet oxyde de carbone intervient en même temps que le charbon pour réduire les oxydes de fer. Mais des quantités considérables d'oxyde de carbone se dégagent avec le gaz carbonique, l'azote de l'air et l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par le charbon: c'est ce mélange combustible qui est dirigé dans les récupérateurs, où on le brûle après y avoir ajouté de l'air; on l'utilise aussi pour faire fonctionner de puissants moteurs à explosion et pour produire la vapeur d'eau dont l'usine a besoin.

Lorsque le creuset est plein de fonte, on débouche avec un pic un trou *T* disposé à sa partie inférieure et fermé avec un tampon d'argile. La fonte liquide coule dans des rigoles tracées dans le sable, sur le sol de l'usine et s'y solidifie en barres irrégulières. On peut aussi amener directement la fonte dans des moules également en sable, quand il s'agit d'obtenir des pièces de grandes dimensions; mais en général il est plus commode de refondre les barres de fonte dans des fours de trois ou quatre mètres de hauteur. Un haut fourneau produit en moyenne de 80 à 100 tonnes de fonte par vingt-quatre heures et consomme, pendant le même temps, environ 100 tonnes de coke et 300 tonnes de minerais et de fondants.

Fabrication du fer: four à puddler. — Pour transformer la fonte en fer, il suffit de lui enlever le carbone qu'elle contient. Pour cela on la maintient à l'état fondu, pendant un temps convenable, au contact d'un courant d'air: le charbon, brûlant plus facilement que le fer, se transforme en oxyde de carbone et en gaz carbonique; et si on brasse la masse de façon à renouveler la surface de contact avec l'air, tout le charbon aura bientôt disparu. Il faut s'arrêter à temps, car le fer brûlerait à son tour.

L'opération (*puddlage*) s'effectue dans un four à réverbère, ou *four à puddler*. Un ouvrier, au moyen de crochets en fer, agite constamment la masse. Ce travail est extrêmement pénible à cause de la température élevée du four et aussi parce que, à mesure que la fonte se transforme en fer, la matière devient de plus en plus pâteuse: de sorte que la manœuvre exige une force musculaire considérable. Aussi on remplace de plus en plus les fours ordinaires par des fours tournants dans lesquels le brassage est automatique.

Quand la transformation est terminée, l'ouvrier divise le fer en blocs pas trop volumineux, et on les porte aussitôt sous le marteau-pilon ou sous la presse hydraulique, pour éliminer les scories emprisonnées dans le fer pâteux, qui est alors prêt à être forgé.

D'ailleurs, on ne fabrique plus que de petites quantités de fer réservées à des usages très spéciaux tels que la maréchalerie et les travaux de petite forge et, le plus souvent, on remplace le fer proprement dit par l'acier doux, plus facile à obtenir.

Fabrication de l'acier. — On obtient industriellement l'acier: (a) en fondant ensemble, en proportions convenables, de la fonte et du fer au four Martin-Siemens, au convertisseur Bessemer ou au creuset; (b) en décarburant incomplètement la fonte au four à puddler; (c) en carburant le fer par cémentation.

Acier Martin-Siemens. — On obtient aujourd'hui des quantités considérables d'acier (plusieurs tonnes à la fois) en fondant de la fonte dans un four à réverbère chauffé au gaz (*four Martin-Siemens*) et en ajoutant du vieux fer et des oxydes de fer (fer rouillé, paillettes provenant des forges, etc.). Une partie du charbon est brûlée par

l'oxygène de l'air et des oxydes; le reste se répartit entre la fonte et le fer. La masse étant fondue, on obtient ainsi de l'acier très homogène, qu'on peut utiliser immédiatement pour couler des pièces de grandes dimensions.

- 5 *Acier Bessemer.* — On l'obtient également en mélangeant de la fonte et du fer. L'opération s'effectue dans le *convertisseur Bessemer* (fig. 6): c'est une grande poche métallique *P* mobile
- 10 autour d'un axe horizontal *O*, garnie intérieurement de terre réfractaire, et présentant à sa partie inférieure un faux-fond
- 15 percé de trous *t* à travers lesquels on peut faire passer un fort courant d'air, qui arrive par *AOAB*. On verse la fonte
- 20 fondue *M* dans le convertisseur en même temps qu'on y fait arriver le courant d'air: les bulles d'air traversent la fonte
- 25 fondue, brûlent tout son carbone et la transforment en fer. Si on ajoute alors une nouvelle quantité de fonte, convenablement calculée, son carbone se répartit dans toute la masse et on obtient de l'acier très homogène, puisque la masse a été fondue.

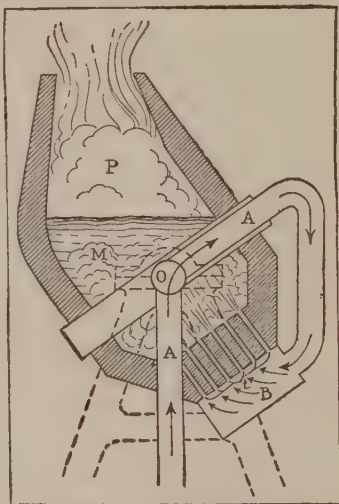


FIG. 6. — SCHÉMA D'UN
CONVERTISSEUR BESSEMER

- 30 *Acier au creuset.* — Les aciers fins, destinés à la fabrication des instruments délicats, se fabriquent en fondant ensemble de la fonte et du fer dans des creusets en terre

réfractaire ou en plombagine. On obtient ainsi de l'acier très homogène, dont on fait varier les qualités en variant les proportions de fonte et de fer ou en introduisant des corps divers: manganèse, chrome, nickel.

Acier puddlé. — La transformation de la fonte en acier s'effectue dans le four à puddler: il suffit d'arrêter l'opération avant que tout le charbon soit brûlé. 5

Acier de cémentation. — Pour transformer le fer en acier, on le place dans des caisses pleines de charbon en poudre et chauffées fortement, pendant plusieurs jours, dans des fours spéciaux (fours de cémentation). Sous l'action de la chaleur le fer se combine avec le charbon; mais le phénomène est surtout superficiel: à l'intérieur la transformation ne se fait presque pas. Le produit obtenu n'est donc pas homogène, ce qui est dans certains cas un avantage. 15

On *cémente* par ce procédé les pièces en fer dont on veut durcir la surface: on peut avoir ainsi des pièces qui ne sont pas fragiles, puisqu'elles sont surtout en fer, tandis que leur surface est très dure, puisqu'elle est transformée en acier et peut être trempée. 20

Électrométallurgie du fer. — Depuis quelques années on traite les minerais de fer au *four électrique* et on obtient ainsi du fer et surtout de l'acier qui sont très estimés. Le courant électrique est d'ailleurs utilisé seulement comme mode de chauffage permettant d'obtenir économiquement des températures élevées et facilement réglables. 25

Par exemple, le four Héroult, utilisé pour la production de l'acier, est en fer garni intérieurement de briques réfractaires; des tuyères permettent d'envoyer l'air nécessaire à l'affinage; le courant est amené par deux électrodes en charbon, qui ne touchent pas le métal, mais plongent 30

dans la couche de scories qui le recouvre et le protège; de sorte qu'il n'y a pas d'arc électrique, mais seulement un courant électrique très intense, qui traverse les électrodes, la couche de scories et le métal et dégage ainsi la
5 chaleur nécessaire. Enfin une crémaillère permet d'incliner l'appareil pour le vider et un tuyau permet de recueillir et d'utiliser l'oxyde de carbone produit.

P. MASSOULIER: *Éléments de Chimie*, Librairie Vuibert, Paris

XI. Les Fours à Coke modernes et la Distillation de la Houille

Qui aurait pu supposer, au début de l'industrie du gaz de houille, que le coke, dont on arrivait avec peine alors
10 à se débarrasser, deviendrait bientôt le produit le plus intéressant de cette fabrication? La production du coke a même nécessité la création d'une industrie spéciale, équipée suivant les données de la technique moderne en vue d'une marche aussi régulière que possible. Pour
15 réaliser une production économique, il faut que toutes les opérations se succèdent sans interruption, c'est-à-dire que les matières brutes entrent d'une part et cheminent d'appareil en appareil, en se divisant constamment jusqu'à la sortie des produits finis que l'on extrait de la houille.

20 Nous allons, en prenant pour modèle une cokerie type, suivre le charbon de l'entrée de la matière brute à la sortie de ses composants, après que la sélection a été faite au passage par les divers appareils que nous étudierons au fur et à mesure de leur rencontre. On est surpris
25 de constater que les gisements de la Ruhr exportent seulement un tonnage de 30 millions de tonnes par an, en

dépit de la centaine de millions extraits du sol (production qui n'est dépassée que par les bassins américains de Pennsylvanie), alors que les gisements du Nord de la France les moins importants exportaient, avant la guerre, 24 millions de tonnes. La différence provient de ce qu'une très notable partie de la production de houille des mines de la Ruhr est utilisée sur place, principalement pour être transformée en coke. 5

Les mines françaises du Nord et du Pas-de-Calais vendent presque tout leur charbon et n'en distillent environ 10 que la douzième partie. Dans la Ruhr, au contraire, l'usine à distiller la houille est généralement installée sur le carreau de chaque mine; on n'aperçoit guère de chevalement qui ne voisine pas avec des batteries de fours à coke. Ceux-ci en paraissent le complément obligé et traitent le 15 tiers de l'extraction totale, en vue, surtout, de la production du coke métallurgique destiné aux hauts fourneaux.

Et, tout d'abord, il semble paradoxal de chercher à extraire un combustible pauvre (le coke) en partant d'un autre combustible plus riche (la houille) auquel on enlève 20 des parties constituantes qui sont toutes des combustibles riches (benzols, huiles, brai, etc.).

En fait, la houille à coke peut être grossièrement considérée comme un carbone pur imprégné d'hydrocarbures plus ou moins volatils, bien qu'en réalité il s'agisse de 25 véritables combinaisons d'une grande complexité. Dans beaucoup de cas (en particulier dans les fours employés en métallurgie), ceux-ci brûlent mal, occasionnent une grande dépense d'oxygène et produisent d'énormes quantités de vapeur d'eau. De plus, dans les hauts fourneaux, 30 le charbon agit non seulement comme source de chaleur, mais encore comme agent réducteur par l'oxyde de carbone

qui se forme dans sa combustion incomplète, sans compter que la houille gonfle, fond et s'agglutine au feu; dans cet état, non seulement elle colle aux parois, ne descend plus dans les étalages, mais encore offre un obstacle infranchissable au dégagement des gaz. Enfin, la densité du coke étant moindre que celle de la houille, sa richesse relative en calories par rapport au poids est augmentée. Et cela est tellement vrai, qu'avant l'utilisation du coke métallurgique, les hauts fourneaux et les forges catalanes marchaient au charbon de bois, même après que se fut répandue l'usage du charbon de terre dans l'industrie, et actuellement on envisage la réduction des minerais de fer par l'oxyde de carbone seul, hors de la présence du charbon incandescent. Dans ce but, le minerai, purifié par des broyages et des lavages successifs, est chauffé en vase clos, puis traité par un courant d'oxyde de carbone qui s'empare de l'oxygène du minerai de fer en se transformant en anhydride carbonique, le réduit et donne du fer presque pur. Celui-ci est envoyé dans un four de fusion, où l'on ajoute de 0,50 à 1% de carbone pur pour le rendre plus fusible, et l'on obtient du premier coup de l'acier, sans passer par l'intermédiaire onéreux de cet autre carbure de fer sursaturé de carbone, produit par les hauts fourneaux et que l'on nomme la fonte.

Ceci dit, voyons comment s'opère la transformation de la houille en coke. Dès sa réception sur wagons ou péniches (à moins que la cokerie ne soit installée sur le carreau même de la mine, ce qui est, au point de vue économique, la meilleure condition), le charbon, débarqué automatiquement, est hissé dans les concasseurs, où s'opère le mélange. Il est assez rare, en effet, que le produit brut de la mine soit apte à fournir un bon coke. Il faut que le

produit naturel ne soit ni trop gras ni trop maigre, assez liant, mais non fusible; que la proportion de cendres et de matières volatiles par rapport au carbone fixe soit favorable; que la teneur en soufre (pyrites) ne dépasse pas un certain pourcentage; toutes ces conditions peuvent 5 être réalisées artificiellement grâce au mélange judicieux des houilles de différentes origines. Cependant, il existe des charbons pouvant être transformés directement en coke: ce sont principalement ceux que l'on extrait dans notre bassin de la Loire et aussi dans celui de Lens. En 10 tout cas, le charbon ou le mélange, concassé dans un broyeur à rouleaux, est pris par une chaîne transporteuse et monté au sommet d'une tour à charbon, vaste bâtiment en ciment armé d'environ 1 000 mètres cubes de capacité et qui est le véritable régulateur d'approvisionnement en 15 combustibles de toute l'usine.

Cette tour à charbon s'élève au-dessus du milieu de la batterie des fours, qui, au nombre de cinquante et quelquefois davantage de chaque côté, sont alimentés par les goulottes de la tour, au moyen de trémies mobiles, 20 sortes de wagonnets circulant sur une petite voie de service placée au-dessus de la voûte constituant le toit des fours.

Ces fours sont d'étroites chambres accolées les unes aux autres et dont l'ensemble forme une immense maçonnerie. 25 Chaque élément mesure environ 2 mètres de haut sur 0 m. 55 de large d'un côté et 0 m. 60 de l'autre pour faciliter le défournage. Les fours sont séparés par des chambres de combustion et des carneaux à fumées, dans lesquels brûlent les gaz provenant de la distillation de la houille. 30

La maçonnerie doit être établie avec des précautions tout à fait spéciales pour assurer sa stabilité, d'autant plus

que, comme nous le verrons tout à l'heure, il existe plusieurs séries de cavités superposées. Il faut s'efforcer d'éviter que les galeries superposées ne soient parallèles ou, alors, il faut avoir soin de disposer des murs de refend formant entretoises. C'est ce qui est obtenu, dans le système que nous décrivons, au moyen de deux cloisons transversales, grâce auxquelles le four repose sur quatre pieds de maçonnerie, ce qui rend impossible toute déformation.

Nous allons décrire un des éléments de la batterie, dont nous avons déjà donné les dimensions, avec le régénérateur qui se trouve en dessous (Fig. 7).

Tous les éléments sont semblables et accolés les uns aux autres, au nombre de cinquante, cent et même plus.

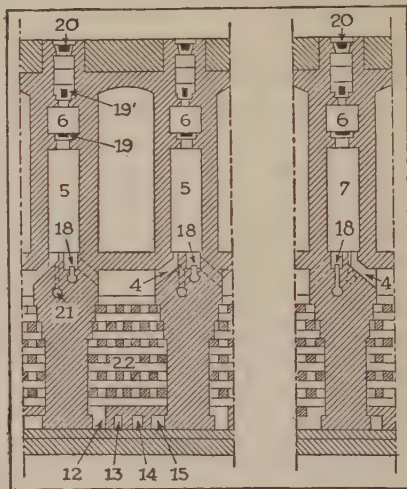


FIG. 7. — COUPE D'UNE CELLULE DE BATTERIE ET DU RÉGÉNÉRATEUR SOUS-JACENT

L'air nécessaire à la combustion pénètre par 4; 5, 6, 7, carnaux de cheminement des gaz; 12, 13, 14, 15, départ des fumées, arrivée de l'air à réchauffer; 18, busettes réglables par où brûlent les gaz combustibles; 19, 19', registres de réglage de la circulation des fumées; 20, regard permettant de régler les busettes 18; 21, carnaux de cheminement des gaz combustibles; 22, empilages de matériaux réfractaires où circulent alternativement les fumées chaudes et l'air à réchauffer.

Le four proprement dit est une cellule voûtée en briques de silice, dans laquelle s'entasse le charbon à distiller. Il est muni d'une porte à chaque extrémité. Dans les constructions récentes, on tend à augmenter la distance entre ces portes, qui était d'une dizaine de mètres, ce qui permet 5 de réduire le nombre des éléments d'une batterie pour un même tonnage de charbon à traiter et, par conséquent, de réaliser en même temps une réduction des frais de premier établissement et d'exploitation de la batterie.

Les portes sont en tôle emboutie, protégées par un 10 revêtement de briques réfractaires. Elles se manœuvrent verticalement, entre deux glissières, à la façon d'une fenêtre à guillotine. D'un côté, se trouvent les portes enfourneuses, et de l'autre, les portes défourneuses. Au-dessus des fours, percées dans la voûte, sont des ouvertures 15 fermées par des tampons réfractaires. Les unes (les plus grandes, sortes de trous d'homme) sont disposées dans l'entre-rail d'une voie ferrée qui court sur toute la batterie, et sur laquelle viennent circuler les trémies roulantes portant une goulotte inférieure qui vient s'ajuster à ces 20 ouvertures. Le remplissage des fours s'effectue par ces orifices. D'autres orifices, plus petits, également munis de tampons de fermeture, permettent d'accéder, dans le fond des carnaux dont nous allons parler, aux busettes de distribution des gaz combustibles, car les fours sont 25 chauffés par la combustion, le long de leurs parois longitudinales, des gaz abondants produits par la distillation même du charbon.

A cet effet, dans la maçonnerie séparant deux fours, et que l'on nomme les piédroits, sont ménagés des conduits 30 verticaux, ou carnaux, réunis à leur partie supérieure par un conduit horizontal. A la partie inférieure de ces

carneaux viennent déboucher des busettes, qui reçoivent le gaz combustible, déjà échauffé par son cheminement dans des conduits percés dans l'épaisseur des maçonneries. Ce gaz allumé reçoit le souffle d'un courant d'air très
5 chaud qui provient des régénérateurs; on appelle ainsi des cavités ménagées dans le massif, au-dessous des fours, et remplies de matériaux réfractaires appelés empilages. Les gaz brûlés, après avoir échauffé les piédroits, sont encore à très haute température: en circulant dans les empilages,
10 ils abandonnent leurs calories et, toutes les demi-heures, on renverse le sens du courant gazeux au moyen de registres disposés à cet effet, ce qui fait que les empilages s'échauffent pendant une demi-heure et ensuite cèdent leurs calories à l'air de combustion.

15 C'est le système dit « à régénération en parallèle », qui tend à remplacer tous les autres dispositifs, en particulier les fours à récupération déjà abandonnés avant la guerre et les fours à régénération en série, qu'ils soient transversaux ou longitudinaux.

20 Cette disposition en parallèle, si elle a l'inconvénient de n'offrir aux gaz brûlés qu'un chemin assez court, présente, en revanche, l'avantage de ne provoquer qu'une perte de charge très faible à l'écoulement des fumées et, par suite, très peu de différence de pression entre les chambres de
25 chauffage et les chambres de carbonisation, ce qui évite les échanges gazeux entre ces organes.

Disons un mot ici sur les différents modes de chauffage des fours à coke. Généralement (et c'est le cas dans l'installation que nous décrivons), les gaz de la distillation
30 eux-mêmes (après séparation des benzols et goudrons en général) sont envoyés aux brûleurs, mais c'est là un mélange riche, tout à fait analogue à celui des usines à gaz,

et il y a souvent intérêt à le vendre comme tel, surtout si l'on se trouve à proximité d'une agglomération. Dans ce cas, on a recours alors, pour le chauffage, à des gaz pauvres produits par réaction de l'air chargé de vapeur d'eau sur du coke incandescent. Ce gaz, moins combustible et 5 donnant moins de calories que le gaz riche, est réchauffé avant combustion par son passage dans les régénérateurs; mais, dans ce cas, il faut faire bien attention qu'il ne se produise pas de mélange d'air et de gaz dans les empilages, ce qui occasionnerait de violentes explosions. 10

Dans ce but, on règle la succession des fluides dans les empilages de telle sorte que jamais l'air ne succède au gaz ni celui-ci à l'air, mais, au contraire, que le gaz succède aux fumées et les fumées au gaz. Cette méthode de chauffe est également utilisée avec du gaz provenant de 15 hauts fourneaux.

Voyons maintenant comment se passent les choses dans une installation moderne.

A l'aide de la trémie mobile dont nous avons parlé, on entasse dans chaque batterie environ 8 tonnes de charbon 20 concassé et mélangé; autrefois (et encore aujourd'hui dans certaines installations et avec certaines sortes de houille), on était obligé de tasser le charbon dans les fours. D'autres fois, c'est la machine à défourner qui est chargée de ce soin. Elle court sur des rails, en avant de la façade 25 de la batterie, et peut être successivement amenée devant la porte de chaque four.

Un bon charbon à coke correspond à la composition centésimale suivante: 90,5% de carbone et de cendres, 4,5% d'oxygène combiné, 4% d'hydrogène combiné, 1% 30 d'azote.

Cette charge séjournera quarante-huit heures pour

obtenir des cokes à fonderie, ou seulement vingt-quatre pour les cokes métallurgiques, avec, bien entendu, des dimensions des cellules appropriées, d'autant plus étroites que la cuisson est moins longue, et donnera approximativement: 2 440 calories par mètre cube; de 80 à 100 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque; 40 kilogrammes de benzol; 160 kilogrammes de goudron, dont la composition centésimale est d'environ 4% d'eau, 2,5% d'huiles légères, 5% d'huiles carboliques, 12,5% de naphthaline, 10% d'huiles lourdes, 16% d'huiles à anthracène et enfin 50% de brai liquide ou goudron.

Quand la cuisson est terminée, c'est-à-dire quand il ne se dégage plus de gaz, le four est vidé au moyen d'une défourneuse, sorte de poussoir mû électriquement, qui fait descendre toute la charge de coke incandescent sur un glaciis où il est éteint par un abondant arrosage. Sitôt refroidi, il est conduit au criblage et de là aux trémies de chargement sur wagons. Nous assistons ainsi à la sortie du premier des produits: le coke.

Les gaz sont recueillis à la sortie des barillets dans une conduite aérienne et amenés aux tours du condenseur primaire, où, ramenés à la température ambiante, ils déposent leurs eaux ammoniacales et les goudrons, qui se condensent. Les produits liquides vont aux appareils de décantation, où ils se divisent en deux, les goudrons et les eaux ammoniacales; celles-ci sont dirigées vers l'usine à sulfate, l'ammoniaque libre est extrait dans des colonnes à plateaux, l'ammoniaque fixé est libéré par un lait de chaux et les deux se rendent (en compagnie du gaz brut venant des barillets) au saturateur, sorte de chambre doublée de plomb, où l'ammoniaque, mis en contact avec de l'acide sulfurique, précipite sous forme de sulfate, le-

quel, débarrassé des eaux-mères dans un égouttoir, puis séché dans uneessoreuse centrifuge, se rend enfin dans le magasin d'où cet excellent engrais est expédié.

Le goudron passe dans les appareils de distillation, où il est décomposé à son tour en tous les produits que nous 5 avons déjà énumérés, à savoir: huiles légères, huiles moyennes, huiles lourdes et brai.

Le gaz est envoyé au condenseur final, après barbotage dans des laveurs à huile de houille qui dissolvent le benzol. Ces huiles sont dirigées ensuite vers les débenzoleurs, où, 10 après séparation par chauffage des parties légères, elles retournent aux laveurs pour resservir à nouveau.

La Science et la Vie, Paris

MATHÉMATIQUES

XII. De l'Algèbre

A l'époque où les sciences exactes, généralement étrangères aux gens du monde, semblaient n'ouvrir leur sanctuaire qu'à des adeptes laborieux et privilégiés, le nom de l'Algèbre ne réveillait communément dans l'esprit, que
5 l'idée de mystères presque cabalistiques ou doués de vertus magnétiques ou occultes. C'eût été une entreprise téméraire de vouloir la mettre à la portée de chacun; et il eût semblé impossible d'en simplifier l'étude au point de la réduire à un mois de travail; les savants auraient crié
10 à la profanation, et les ignorants au miracle.

La langue des calculs était la chose obscure par excellence, et l'on disait proverbialement de tout ce qui exigeait beaucoup d'effort, de réflexion: C'est de l'Algèbre.

Il n'en est plus ainsi de nos jours, et les découvertes
15 (fruit du temps et du génie), les résultats qui ont coûté tant de veilles aux savants d'un autre âge, sont popularisés: les plus minces écoliers répètent, sans effort, des calculs dont l'invention (faite dans un temps plus reculé), eût fait tressaillir de joie un Archimède et un Newton. La
20 science ne s'entoure plus de ténèbres; elle ne se hérisse plus d'un langage étranger et barbare. Le grand mérite de ceux qui la possèdent est de parler comme tout le monde et dans l'idiome commun. On exige d'eux de la clarté et de l'élégance.

25 Le système de la simplification, ou pour donner à la chose son nom de vogue, le résumé, fait le tour du monde

intellectuel. Grâce à des hommes d'un vrai talent, qui l'ont popularisé dans le genre historique, le résumé a passé de la littérature dans la science; nous avons maintenant une foule de manuels de chimie, d'astronomie, de mécanique, etc; nous avons même des encyclopédies en un 5 volume.

Or, il faut remarquer que les sciences exactes se prêtent encore plus à cette méthode de simplification et d'abréviation, que les divers genres de littérature, et que les sciences 10 législatives ou morales. Comme les sciences exactes reposent sur un petit nombre de principes ou de faits métaphysiques incontestables, et comme les propositions qui composent un système entier et très développé, peuvent toujours être ramenées à ces proportions primitives ou principes générateurs, il ne s'agit, pour résumer, que de 15 revenir au point de départ de tout le système.

La même opération ne peut pas se faire avec une égale certitude dans tout ce qui dépend des quantités morales; comme elles sont variables, irréductibles, et que les principes qui les constituent, n'obtiennent pas de tous un 20 égal assentiment, elles subissent moins complètement le joug de l'analyse.

Cette réflexion s'applique à l'histoire, bien qu'elle soit une science de faits. Le système historique le mieux conduit, le mieux lié, le plus probable, a toujours un côté 25 vulnérable pour la critique, et laisse toujours une part ouverte à la controverse. D'où vient que tant de bons esprits ont appelé l'histoire une fable convenue. L'histoire a besoin, pour obtenir du crédit, de marcher avec un grand appareil de détails et de preuves. Le résumé d'histoire 30 n'a que le temps d'affirmer; et il le fait souvent au hasard: c'est son côté faible.

Ce côté faible n'existe pas en mathématiques, ni surtout dans la langue propre à cette science: on peut toujours affirmer hardiment la valeur d'un résultat obtenu, par une opération ou formule régulière.

- 5 Or, l'Algèbre est la science de ces formules: elle enseigne comment il faut procéder à ces opérations. Nous allons expliquer ses moyens.

Lorsqu'on veut résoudre une question numérique, c'est-à-dire trouver certains nombres d'après la connaissance
 10 d'autres nombres liés au premier par des conditions données, on est conduit à faire des raisonnements et des calculs pour arriver aux résultats demandés; on remarque bientôt que ces raisonnements sont indépendants des grandeurs données et que la succession des opérations
 15 numériques resterait le même si l'on changeait ces grandeurs, sans cependant altérer en rien les conditions de la question. L'Algèbre est une science qui a pour objet de rechercher quelle est la suite des calculs qui résolvent les problèmes proposés; d'en former des tableaux, d'indiquer
 20 les simplifications possibles, etc., et cela, quels que soient les nombres eux-mêmes qui font la base de ces opérations. Un exemple fera concevoir cette exposition.

Si l'on demande l'intérêt à 5 pour cent du capital 10.000 fr., on peut voir de suite qu'il faut poser cette proportion:

- 25 Si 100 francs rapportent 5 francs d'intérêt, combien 10.000 fr. rapporteront-ils?

On trouve 500 fr. pour le résultat demandé.

L'intérêt de 12.000 fr. à 6 pour cent s'obtiendra par la proportion

30
$$100 : 6 :: 12.000 : x,$$

et l'on aura 720 fr. d'intérêt.

Ainsi, dans ce genre de questions, les données peuvent différer entre elles par la valeur du capital et par le taux; mais quels que soient ces nombres, il est clair que la proportion qu'on sera obligé de former, conduira à multiplier le centième du capital par l'intérêt de 100 fr.: cela 5 est vrai pour toutes les sommes placées, et pour tous les taux d'intérêts. Telle est donc la suite des calculs qu'il conviendra d'exécuter dans tous les problèmes de ce genre, indépendamment des nombres sur lesquels le calcul sera fait. 10

Posons donc que toute règle ou formule algébrique n'est que l'énoncé des procédés de calcul à mettre en œuvre pour obtenir la solution, indépendamment de la grandeur des nombres donnés.

Chaque question ne peut de même être résolue que par 15 une suite d'additions, multiplications, divisions, etc., qu'on ne doit pas faire au hasard, mais qui résultent des conditions qu'elle assigne. L'énumération de ces opérations ne suffit pas pour les résoudre, il faut encore les effectuer; mais comme la partie matérielle du calcul ne 20 peut présenter des difficultés, qu'elle est tout au plus longue et fastidieuse, sans que rien ne puisse s'opposer à son exécution, il est clair que le principal obstacle qu'on vient à trouver pour résoudre les problèmes, consiste réellement à découvrir la suite des calculs qui donneront la 25 solution quand on aura pris la peine de les faire. Or, il s'en faut de beaucoup que les questions soient, comme les précédentes, assez simples pour que l'on puisse de suite saisir la liaison des données aux inconnues, et en conclure les opérations qui amènent un résultat. 30

L'objet principal de l'Algèbre est donc d'assigner ces relations et d'en former, pour ainsi dire, le tableau dans

une sorte de langage qui est très propre au but que l'on s'est proposé.

Ainsi, l'algébriste ne raisonne pas plus sur un tel nombre pris en particulier, que sur tout autre: la grandeur définie
5 ne lui importe en rien, puisqu'il n'a pas le dessein d'exécuter des opérations numériques; mais seulement d'indiquer s'il faut multiplier ou diviser, ajouter ou soustraire. Aussi est-il dans l'usage de représenter ordinairement les nombres par des lettres, des symboles, des figures arbitraires qui
10 tiennent simplement lieu des nombres, et sur lesquels il raisonne sans s'inquiéter s'ils sont tels ou tels, grands ou petits. Il se sert aussi, pour abrégér, de signes purement conventionnels.

Un avantage attaché aux formules algébriques, c'est de
15 dispenser de tout raisonnement celui qui veut résoudre un problème du genre de ceux auxquels l'une de ces formules convient. Il ne s'agit plus que de pratiquer, pour ainsi dire machinalement, de certains calculs, selon les indications de cette formule, sans avoir à méditer sur les causes
20 qui déterminent à préférer ces opérations à d'autres. Le raisonnement d'où l'on a déduit ces combinaisons, a été fait une fois pour toutes: le matériel du calcul changera dans chaque cas avec les nombres donnés; mais l'ordre et la nature de ces opérations resteront invariables. Il ne
25 sera même pas nécessaire de concevoir les motifs qui ont dirigé l'algébriste, quand il est parvenu à cette formule; il suffira de la certitude qu'il n'a pas créée dans son jugement, et l'on pourra s'en servir comme lui et avec toute l'habileté qu'il y eût lui-même appliquée, s'il eût été dans
30 la nécessité de s'en servir.

XIII. Des Procédés de Démonstration géométrique

Il est impossible d'indiquer une méthode générale et certaine pour résoudre tous les problèmes de Géométrie. La nature des questions qu'on peut poser est trop variable pour que la solution puisse être obtenue à coup sûr en suivant une marche unique. Il existe toutefois quelques 5 procédés particuliers qui s'appliquent plus directement à certaines classes de questions. Nous allons en indiquer sommairement plusieurs ici.

Et d'abord, sauf pour un petit nombre de questions très simples qui se résolvent immédiatement, on procède tou- 10 jours par *substitutions successives*. On ramène le problème proposé à un autre, qui se ramène à son tour à un troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive à un problème connu ou dont la solution soit immédiate.

C'est ainsi, par exemple, que le problème de mener par 15 un point une parallèle à une droite se ramène à la construction d'un angle égal à un angle donné; que toutes les questions relatives aux perpendiculaires se ramènent à la première d'entre elles, *mener une perpendiculaire sur le milieu d'une droite*; que le problème de la tangente com- 20 mune à deux cercles se ramène à la construction d'une tangente par un point extérieur, etc.

La méthode de substitutions successives n'est pas seulement un procédé géométrique, c'est la marche que suit naturellement l'esprit pour établir une proposition quel- 25 conque dont l'évidence n'est pas immédiate. C'est ce qui explique l'intervention de cette méthode dans la démonstration de la plupart des théorèmes de Géométrie.

Pour prouver la vérité d'une proposition A , on la ramène à une proposition B , qu'on ramène à son tour à une troisième proposition C , et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on parvienne à une dernière proposition M , évidente par elle-même ou démontrée antérieurement. Mais, pour l'exactitude du raisonnement, il est indispensable qu'il y ait *réciprocité* entre deux propositions consécutives quelconques de la série $A, B, C, \dots M$; en d'autres termes, chacune des deux propositions consécutives considérées doit entraîner l'autre, sans quoi la vérité de la proposition finale M n'entraînerait pas celle de la première proposition A .

Dès qu'on est arrivé à construire la chaîne des propositions $A, B, C, \dots M$, on peut exposer la démonstration de deux manières: soit en suivant l'ordre même $A, B, C, \dots M$, de l'invention, soit en partant au contraire de la proposition M et en remontant la série dans l'ordre inverse $M, \dots C, B, A$. Dans le premier cas, on fait l'*analyse* du théorème; dans le second cas, on en présente la *synthèse*.

Un procédé qui mérite une mention spéciale consiste à replier la figure ou certaines parties de la figure autour d'une droite convenablement choisie, qui prend le nom d'*axe*. Sur la figure ainsi doublée, on découvre souvent d'un coup d'œil, entre certaines lignes, des relations qui sans cela seraient restées inaperçues. La théorie des perpendiculaires et des obliques offre un exemple frappant de cette manière d'opérer.

Quand on replie une figure autour d'un certain axe XY , un point quelconque M de cette figure vient en un point M' que l'on peut obtenir en abaissant de M une perpendiculaire sur XY , et en la prolongeant d'une

quantité égale à elle-même. Un pareil point M' est dit le *symétrique* de M par rapport à XY , et le procédé dont nous parlons prend souvent le nom de *méthode par symétrie*.

Parmi les divers procédés de démonstration, on ne peut passer sous silence la *méthode de réduction à l'absurde*, qui 5 consiste à montrer que la non-existence de la proposition qu'on veut établir conduit à une absurdité manifeste ou à des conséquences que l'énoncé repousse.

De tous les procédés particuliers, le plus général et le plus fécond est la *méthode par intersection de lieux géo- 10 métriques*.

La plupart des problèmes de Géométrie se ramènent en dernière analyse à la détermination d'un point d'après certaines conditions. S'agit-il, par exemple, de faire passer un cercle par trois points donnés, tout revient à trouver le 15 centre; veut-on mener une tangente à un cercle par un point extérieur, on cherche le point de contact, etc. D'après cela, si on laisse de côté une des conditions données, les autres conditions ne suffiront plus pour déterminer un point unique, et il existera une infinité de points qui 20 satisferont à ces conditions et qui formeront par leur ensemble un certain lieu géométrique renfermant le point cherché. En reprenant la condition délaissée, et en faisant abstraction d'une autre condition, on aura un nouveau lieu géométrique qui rencontrera le premier au point 25 demandé. On conçoit que l'élégance et la valeur pratique de la solution obtenue sont subordonnées au choix plus ou moins habile des deux conditions que l'on délaisse tour à tour; car de ce choix dépendent à la fois la nature, la facilité de recherche et la simplicité de construction des 30 deux lieux géométriques obtenus; la ligne droite et le cercle sont les seuls lieux qui doivent figurer dans les

problèmes relatifs aux éléments de Géométrie plane, où toutes les constructions s'effectuent avec la règle et le compas.

Pour trouver le centre d'un cercle passant par trois points
 5 donnés A, B, C (fig. 8), on fait d'abord abstraction de l'un
 des points, C par exemple, et
 l'on trouve pour le lieu géométrique des centres des circon-
 férences passant par A et
 10 B la perpendiculaire élevée sur
 le milieu de AB ; puis, en
 faisant abstraction du point A ,
 on a la perpendiculaire élevée
 sur le milieu de BC pour le
 15 lieu des centres des circon-
 férences passant par B et C . Ces deux perpendiculaires
 se coupent au centre demandé.

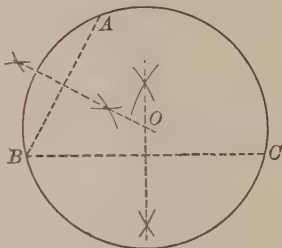


FIG. 8

Dans le problème mener une tangente à un cercle de
 centre O par un point ex-
 20 térieur A (fig. 9), le point
 de contact inconnu doit,
 d'une part, se trouver
 sur la circonférence C ,
 et de l'autre, être le
 25 sommet d'un angle droit
 dont les côtés passent
 par les points fixes A et
 O ; il est donc à l'inter-
 section de deux lieux géométriques qui sont la circonfé-
 30 rence C , et le cercle décrit sur AO comme diamètre.

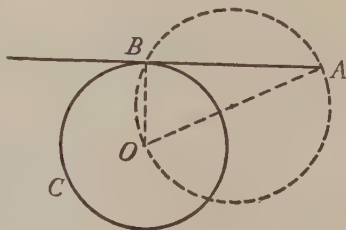


FIG. 9

En terminant ces notions, nous devons faire une re-
 marque essentielle. Dans un grand nombre de cas, une

heureuse inspiration, fruit de l'habitude et d'un certain sentiment des choses géométriques, conduit à des *constructions auxiliaires* qui facilitent singulièrement la solution du problème que l'on cherche. Voici un exemple:

Construire un trapèze connaissant les longueurs des quatre 5
côtés. — Il suffit d'*avoir l'idée* de mener par l'un des sommets une parallèle à l'un des côtés non parallèles; on obtient ainsi un parallélogramme et un triangle; on sait construire le triangle, car on connaît ses trois côtés, et la figure s'achève aisément. 10

On pourrait multiplier les exemples; mais de tous ceux que l'on citerait, si nombreux qu'ils fussent, on ne ferait pas sortir la moindre règle générale relative à ces constructions, dont la diversité tient à la nature si variable du sujet lui-même, et constitue au fond la richesse inépuisable 15
de la Géométrie.

MÉCANIQUE

XIV. Notions de Mécanique générale

Travail mécanique; moteurs. — Tout le monde connaît une grande variété d'appareils que l'on peut ranger dans la catégorie des *moteurs*. Citons seulement comme exemples la machine à vapeur, le moteur à explosion, la turbine hydraulique, le moulin à vent, le moteur animal ou humain. Chacun d'eux peut être employé à des applications très diverses; on peut s'en servir pour mettre en mouvement un corps pris au repos, pour maintenir un véhicule en mouvement malgré les frottements qui tendent à l'arrêter, pour vaincre une résistance mécanique telle que la cohésion, etc. Tous ces effets peuvent être ramenés à ceci: le moteur effectue un certain *travail mécanique*. Le cas le plus simple, celui où ce travail apparaît et se mesure immédiatement, est celui où le moteur est utilisé pour élever des poids, sans qu'il y ait aucun autre effet produit (en particulier sans qu'il y ait eu à vaincre aucun frottement). L'effet utile du moteur, ou travail effectué, est évidemment proportionnel à la valeur du poids élevé et à la hauteur à laquelle il a été monté; il se mesurera donc par le produit de ces deux quantités.

Une définition analogue s'applique à tous les cas. Supposons qu'un appareil (un moteur humain par exemple) tire sur une corde et la tende avec une force F . Si la corde est attachée par son autre extrémité à un point fixe, cette force ne produit aucun effet, elle ne modifie rien dans la

position des divers objets; il n'y a aucun travail. Il n'y a travail que si la force produit un déplacement. Supposons que la force déplace son point d'application, dans sa propre direction, d'une longueur h . Elle aura produit un travail dont l'expression numérique sera:

5

$$U = F \times h.$$

C'est ainsi que si un poids est suspendu à une corde et qu'un moteur fasse monter lentement ce poids, il devra à chaque instant exercer sur la corde une traction sensiblement égale au poids; lorsque le moteur aura fait monter 10 le poids d'une certaine hauteur, il aura effectué un travail égal au produit du poids par la hauteur d'ascension.

Il est rare qu'un moteur travaille dans des conditions aussi simples, permettant d'évaluer immédiatement le travail effectué; mais toutes ses applications peuvent 15 être ramenées à un certain travail effectué, c'est-à-dire que ses conditions de fonctionnement, sa dépense de combustible ou d'eau, les forces exercées par ses organes, sont les mêmes que s'il avait réellement effectué un certain travail mécanique, par exemple, élevé un certain poids à 20 une certaine hauteur. Dans la réalité, l'effet produit peut être tout autre; il peut consister en accroissement de vitesse d'un volant, en frottements vaincus donnant lieu à un dégagement de chaleur, etc. On peut dire que le moteur a produit un certain travail et que ce travail a été 25 utilisé (ou gaspillé) à produire divers effets.

Si, pour mesurer la force, on prend comme unité le poids d'un kilogramme et si l'on exprime les déplacements en mètres, la formule précédente donnera le travail exprimé en *kilogrammètres*. Dans le système CGS, l'unité 30 de force est la *dyne*, unité très petite puisqu'il faut 981

dynes pour faire une force égale au poids d'un gramme. L'unité de longueur est le centimètre. L'unité de travail est, par suite, *le travail produit par une force d'une dyne qui déplace d'un centimètre son point d'application*. L'unité
 5 ainsi définie s'appelle l'erg. Elle est beaucoup trop petite pour les besoins de la pratique. On emploie ordinairement le *joule* qui vaut 10^7 ergs (10 millions d'ergs); 9,81 joules équivalent à un kilogrammètre.

Puissance mécanique. — On dit qu'un appareil fonc-
 10 tionne en *régime permanent* lorsque, pendant les unités de temps successives, il produit exactement les mêmes phénomènes. Cette notion s'applique aussi bien à une pompe qui monte de l'eau (débit constant) qu'à un générateur d'énergie électrique (courant constant) ou à un appareil
 15 de chauffage (production de quantités de chaleur constantes dans des temps égaux). Dans tous les cas de ce genre, il y a lieu de rapporter les phénomènes à l'unité de temps.

Lorsqu'un moteur fonctionne en régime permanent, il
 20 produit le même travail dans les unités de temps successives. La chose importante pour caractériser les conditions de fonctionnement de ce moteur est évidemment le travail qu'il produit dans chaque unité de temps. Cette quantité s'appelle la *puissance* du moteur pour le régime
 25 considéré.

Supposons que le moteur, fonctionnant ainsi en régime permanent, ait produit un travail U au bout du temps t . Sa puissance sera:

$$W = \frac{U}{t}. \quad (1)$$

30 On peut aussi écrire:

$$U = Wt. \quad (2)$$

Cette notion de puissance est capitale dans toutes les questions de dynamique. Dans l'ordre habituel d'exposition des principes de la mécanique, on rencontre successivement la *force*, le *travail*, la *puissance*. Un moteur peut évidemment être considéré comme produisant une force; 5 un homme, cas particulier du moteur animal, peut avec son bras tenir un poids en équilibre, rompre un fil, etc.; mais des appareils très simples (levier, palan, etc.), qui ne sont nullement des moteurs mais de simples transmetteurs, font varier, dans le rapport que l'on veut, la 10 *force* exercée; la force n'est pas une donnée caractéristique importante d'un moteur. Le *travail* est déjà plus intéressant à considérer; dire qu'un moteur a effectué tel travail, cela permet de se faire une idée de ce qu'il a dû consommer et aussi du changement que cela a pu produire dans les 15 objets environnants; mais un moteur donné peut produire n'importe quel travail, en y mettant plus ou moins de temps. Un homme, aussi bien qu'une locomotive, peut produire un travail de 100 000 kilogrammètres, mais l'homme ne peut effectuer ce travail qu'en travaillant 20 pendant des heures, tandis que la locomotive peut l'effectuer en une seconde. C'est le *travail par unité de temps* qui caractérise les conditions de fonctionnement d'un moteur, et le mot *puissance* exprime parfaitement la signification de cette donnée, un moteur puissant étant celui 25 qui fait beaucoup de travail en un temps donné.

Naturellement, un moteur donné peut, selon les conditions, produire une puissance plus ou moins élevée. Il peut être arrêté, ou tourner *à vide*, ne produisant aucun travail et, par suite, ayant une puissance nulle; mais un moteur 30 donné est incapable de produire une puissance supérieure à une certaine limite que l'on peut appeler sa puissance maxima.

En résumé, avec un moteur donné on peut exercer des forces aussi grandes que l'on veut, en utilisant une transmission convenable; on peut produire tel travail que l'on veut, en y mettant plus ou moins de temps; mais il est impossible de développer une puissance supérieure à une certaine limite. Par exemple, un moteur humain peut exercer des forces de milliers de kilogrammes en se servant d'un cric (qui est un simple transmetteur), produire des millions de kilogrammètres en travaillant pendant des jours, mais il est incapable de développer une puissance d'un cheval.

L'unité de puissance peut être considérée comme l'unité mécanique fondamentale en électricité; la puissance est, le plus souvent, la seule grandeur purement mécanique que l'on mesure directement. L'unité employée se déduit du joule et de la seconde et s'appelle le *watt*. La puissance d'une machine est d'un watt si, *dans chaque seconde, elle produit un travail d'un joule* (ou 0,102 kilogrammètre). Les équations (1) et (2) sont valables en mesurant le travail U en joules, le temps t en secondes et la puissance W en watts. Dans les applications pratiques, on emploie plus souvent le multiple *kilowatt* (1 000 watts) qui est la véritable unité industrielle de puissance.

L'importance de la notion de puissance est telle que, bien souvent, dans les questions d'énergie électrique c'est la puissance que l'on mesure directement et le travail (ou l'énergie) n'intervient que comme produit d'une puissance par un temps; ce n'est pas l'équation (1) qui sert à calculer la puissance, mais au contraire l'équation (2) qui donne le travail; le joule se présente alors comme étant, par définition, *le travail que produit en une seconde une machine dont la puissance est d'un watt*.

Dans beaucoup de questions d'ordre commercial la seconde est une unité de temps trop courte; c'est ainsi que l'on ne loue pas une voiture ou un appartement à tant par seconde. Conservant le watt comme unité de puissance, on est parfois amené à prendre l'heure comme 5 unité de temps; l'unité de travail sera alors *le travail que produit en une heure une machine qui développe une puissance d'un watt*. L'unité ainsi définie s'appelle *watt-heure* et vaut évidemment 3 600 joules. Le *kilowatt-heure*, dont le nom indique suffisamment la définition, vaut 3 600 000 joules. 10 Enfin, on est amené parfois à se servir du *kilowatt-an*, qui vaut 31 milliards de joules.

On a vu plus haut que l'on peut mesurer le travail avec d'autres unités que le joule, par exemple avec le kilogrammètre. A ces autres unités on peut faire correspondre des 15 unités de puissance. La plus ancienne, encore souvent employée, est le *cheval*, définie comme *la puissance d'une machine qui effectue dans chaque seconde un travail de 75 kilogrammètres*. Le cheval vaut 736 watts; inversement, un kilowatt vaut 1,36 cheval. 20

Énergie. — Il est impossible de produire soit du travail mécanique, soit de la chaleur, sans une dépense correspondante d'énergie. Cette dépense d'énergie provient de l'énergie interne de quelque autre chose, énergie qui subit une diminution correspondant au résultat obtenu. Ex- 25 pliquons cela par un exemple:

Soit un ressort, que nous supposerons d'abord complètement détendu. On peut le *tendre en dépensant* du travail. Une fois tendu, le ressort peut, à son tour, *produire* du travail en revenant à son état initial. On dira qu'en ten- 30 dant le ressort on a augmenté son énergie interne; cette énergie diminue de la même quantité quand le ressort

revient à son état initial, et le travail produit est acheté au prix de la diminution correspondante d'énergie.

De cette diminution d'énergie on aurait pu, d'ailleurs, tirer d'autres résultats que du travail mécanique; en
5 particulier, il eût été facile d'en tirer uniquement un dégagement de chaleur puisqu'il est toujours facile d'obtenir de la chaleur par dépense de travail. Ceci est un fait absolument général: toute diminution d'énergie interne peut être employée à produire uniquement de la chaleur.
10 Une partie de cette énergie (et quelquefois le tout) peut être employée à produire du travail mécanique.

Nous sommes incapables de créer de l'énergie, nous pouvons seulement la transformer; nous l'empruntons toujours, en définitive, à quelque chose qui se transforme
15 et dont l'énergie propre diminue. Un moteur à ressort produit du travail aux dépens de l'énergie interne du ressort. Un moteur hydraulique utilise l'énergie que possède une masse d'eau retenue dans un réservoir élevé. Un appareil de chauffage dégage de la chaleur en utilisant
20 l'énergie interne du système constitué par du charbon et l'oxygène de l'air, système qui se trouve transformé en gaz carbonique; la machine à vapeur (considérée avec son foyer sans lequel elle ne peut fonctionner) utilise la même transformation, mais transforme en travail mécanique
25 *une partie* de l'énergie.

Transport d'énergie. Rendement. — Ce qui précède nous a conduits à la notion importante de transport d'énergie ou, plus généralement, d'échange d'énergie entre deux appareils ou entre deux parties d'un système. Ces
30 échanges peuvent être faits de bien des manières. L'exemple le plus facile à comprendre est celui d'une transmission purement mécanique (par exemple au moyen de poulies

et courroies), au moyen de laquelle un moteur transmet de l'énergie mécanique à un appareil qui l'utilise (une machine-outil par exemple). Il y a alors à considérer la puissance W que transmet le premier de ces appareils et la puissance W' que reçoit le second. La transmission 5 atteindrait la perfection si l'on avait $W' = W$. En réalité, W' est toujours plus ou moins inférieur à W , et la différence $W - W'$ représente la puissance perdue dans la transmission. Cette puissance se retrouve en chaleur, c'est-à-dire en une forme non utilisée de l'énergie. On dira que le 10 *rendement* de la transmission est inférieur à l'unité, ce rendement étant par définition le rapport $\frac{W'}{W}$ de ce que l'on recueille à ce que l'on consomme.

CH. FABRY: *Éléments d'Électricité*, Armand Colin, Paris

XV. Machine à Vapeur

Principe de la machine à vapeur. — Chauffons de l'eau dans une chaudière fermée. Nous savons qu'elle se vaporise jusqu'à ce que la vapeur formée ait acquis une pression déterminée, fonction seulement de la température
5 de la chaudière. Cette pression ne dépend ni de la forme de celle-ci, ni de ses dimensions, ni de la quantité d'eau qu'elle contient.

L'équilibre atteint, puisons dans la chaudière une partie de la vapeur: une nou-
10 velle quantité d'eau se vaporise immédiatement jusqu'à ce que la même pression soit rétablie, à condition, bien entendu,
15 que le foyer cède la chaleur absorbée par la vaporisation et maintienne la température constante.

Pourvu que nous four-
20 nissions de l'eau à la chaudière et du combustible au foyer, nous obtenons ainsi une source de vapeur à pression bien déterminée. Si la température de la chaudière est maintenue à 180° , la
25 vapeur possède une pression de 10 kilogrammes par centimètre carré; pour une température de 200° , la pression est de 15 kilogrammes. Réciproquement, si, à l'aide de

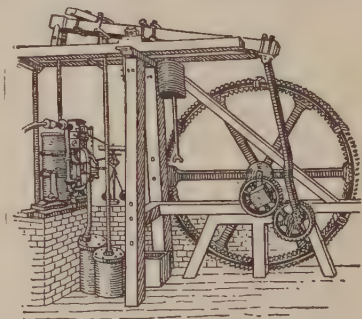


FIG. 10. — LA MACHINE À VAPEUR
DE JAMES WATT

soupapes, nous maintenons la pression constante, la température ne peut dépasser une valeur déterminée.

Faisons communiquer la chaudière avec un cylindre dans lequel peut glisser un piston. La pression exercée par la vapeur sur le piston le fait avancer, si elle est suffisante. La machine peut ainsi effectuer un travail. On lui *fournit* de la chaleur, elle *restitue* du travail; elle transforme de l'énergie calorifique en énergie mécanique. 5

Chaudière. — Une chaudière doit vaporiser en une seconde un certain poids de vapeur. L'élément capital à considérer est donc la *surface de chauffe*, c'est-à-dire l'aire de la paroi en contact avec les *produits de combustion* du combustible placé sur la grille. 10

Pour ne pas exagérer l'encombrement de la chaudière, tout en maintenant une grande surface de chauffe, on fait passer la flamme et la fumée dans de nombreux tubes de 4 à 5 centimètres de diamètre en moyenne, traversant de bout en bout le *corps cylindrique* de la chaudière; ils aboutissent d'une part au foyer, et de l'autre à un espace en communication avec la cheminée (boîte à fumée). On ne s'étonnera plus, dans ces conditions, que la surface de chauffe puisse atteindre des milliers de mètres carrés dans les chaudières des transatlantiques et dépasser 100 m² dans les locomotives. 15 20

Grâce à ces tubes, les gaz de la combustion arrivent à la cheminée suffisamment refroidis; la perte de chaleur dans la fumée est ainsi réduite. 25

On peut admettre qu'avec une chaudière bien construite et de dimensions suffisantes, on utilise environ 60 p. 100 de la chaleur contenue dans le combustible. 30

Naturellement, quand les dimensions du corps cylindrique de la chaudière sont grandes et quand on veut y

maintenir une pression élevée, les parois de la chaudière doivent être très épaisses. On les fait en feuilles de tôle de fer assemblées au moyen de rivets appliqués à chaud, et dont le refroidissement opère un serrage très énergique.

5 L'épaisseur de la tôle peut atteindre 15 millimètres.

Cylindre et piston; machine à simple effet avec ou sans condenseur; marteau-pilon. — Faisons communiquer la chaudière avec le compartiment *I* d'un cylindre (fig. 11) dans lequel peut glisser un piston. La vapeur
 10 exerce sur la face du piston en contact avec elle une force de 10 kilogrammes par centimètre carré, si la chaudière est
 15 à 180°. Par exemple, sur un piston de 30 centimètres de diamètre, et par conséquent de 700 centimètres carrés de surface,
 20 la force exercée est de 7 000 kilogrammes. Si le compartiment *II* communique avec l'atmosphère, celle-ci s'oppose au mouvement du piston avec une
 25 force d'un kilogramme par centimètre carré, soit 700 kilogrammes. Le piston ne peut plus soulever que 6 300 kilogrammes (son poids compris).

D'après ce principe sont construits les marteaux-pilons (fig. 11). Le piston se meut verticalement; dans les con-
 30 ditions précédentes, il peut soulever un marteau de fonte de plus de 6 000 kilogrammes à une hauteur qui n'est limitée que par la longueur des glissières, puisque la pres-

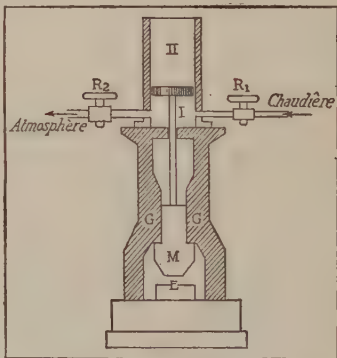


FIG. 11

sion de la vapeur ne dépend pas de l'accroissement de la capacité du réservoir qui la contient.

Quand le piston est parvenu à une hauteur convenable, on ferme le robinet d'*admission* R_1 : la vapeur soutient le marteau. Si alors on ouvre le robinet R_2 , qui met le 5 compartiment I en communication avec l'atmosphère, le marteau retombe sous l'influence de son poids et écrase les pièces métalliques placées sur l'enclume E . C'est ainsi que dans l'industrie on martelle les plaques de blindage, les blocs d'acier dans lesquels sont forés les canons, etc. 10

On peut augmenter la puissance de la machine par l'emploi d'un *condenseur*. C'est un espace entièrement clos, vide d'air et contenant de l'eau maintenue à basse température (environ 40°); la pression dans cette en- 15 ceinte est la tension maxima de la vapeur d'eau à 40° , soit 75 grammes par centimètre carré. Au lieu de communiquer avec l'atmosphère, le robinet R_2 met le compartiment I en communication avec le condenseur. En vertu du principe de la paroi froide, la vapeur se condense immédiatement; il se produit un vide partiel sous le piston. Le 20 piston ne retombe plus seulement sous l'action de son propre poids, mais sous la poussée de l'atmosphère qui n'est plus complètement équilibrée.

Machine à double effet. — Dans la machine précédente, à *simple effet*, la vapeur n'agit que sur une des faces du 25 piston. Par une combinaison de robinets (*distributeurs*), on peut la faire agir alternativement sur les deux faces du piston. Tout se passe alors comme si on avait deux machines à simple effet; la puissance est doublée.

Disposons des tubes à robinet 1, 2, 3, 4 (fig. 12) permet- 30 tant de faire communiquer à volonté chacun des compartiments I et II du cylindre, soit avec la chaudière, soit avec

le condenseur ou l'atmosphère. Les robinets 1 et 4 étant ouverts et les deux autres fermés, le compartiment *I* communique avec la chaudière, le compartiment *II* avec le condenseur: le piston est poussé par la vapeur vers le haut dans la figure. Lorsque le piston est arrivé au bout de sa course, fermons les robinets 1 et 4 et ouvrons les deux autres. C'est alors le compartiment *II* qui communique avec la chaudière et *I* avec le condenseur. La vapeur venue de la chaudière pendant le mouvement précédent et remplissant *I*, échappe, c'est-à-dire se

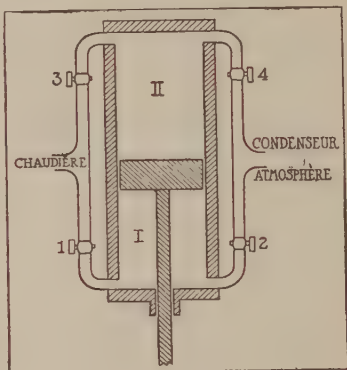


FIG. 12

liquéfie dans le condenseur ou se perd dans l'atmosphère. Dans *II*, la pression est celle de la chaudière: le piston revient donc en arrière jusqu'à l'autre bout du cylindre.

Si nous rétablissons les mêmes communications, les mêmes parcours s'accomplissent de nouveau; le piston est animé d'un mouvement de va-et-vient rectiligne alternatif.

Nous verrons tout à l'heure comment automatiquement: 1. ce mouvement est exactement limité, de sorte que le piston ne risque pas de buter contre les *fonds* du cylindre; 2. l'ouverture et la fermeture des orifices d'*admission* et d'*échappement* se font lorsque le piston occupe des positions choisies à volonté le long de sa course.

Détente; machine compound. — Nous supposons au paragraphe précédent que le cylindre est en communica-

tion avec la chaudière pendant toute la course du piston. On peut faire travailler la machine plus économiquement, c'est-à-dire avec une dépense moindre de vapeur (et par conséquent de combustible) pour un même travail obtenu, en ne maintenant l'*admission* que pendant une fraction de la course. Il suffit de régler convenablement l'ouverture et la fermeture des orifices d'admission, ce qui, nous l'avons dit, se fait automatiquement.

Lorsque la vapeur n'est admise dans le cylindre que pendant $\frac{1}{10}$ de la course, on dit que la détente est au dixième. Pendant ce premier dixième, la pression dans le cylindre est égale à la pression dans la chaudière. On ferme alors l'admission; pendant le reste du trajet, la communication est donc interrompue entre la chaudière et le cylindre. La vapeur augmente de volume, se détend; sa pression diminue peu à peu.

L'avantage de la détente se comprend aisément. La dépense de vapeur est, dans notre exemple, dix fois moindre que sans détente; le travail est loin d'être réduit au dixième; ce dixième est déjà obtenu pendant le temps où la vapeur est admise; on a comme *gain net* tout le travail effectué à partir du moment où l'admission est fermée.

Quand la machine n'a pas de condenseur, l'un des compartiments du cylindre est à la pression atmosphérique; il faut que la pression de la vapeur dans l'autre lui reste notablement supérieure. Dans les locomotives, par exemple, la détente descend rarement au-dessous du tiers. On peut aller plus loin dans les machines pourvues d'un condenseur.

Mais, quand la fraction de détente est petite, on serait conduit à employer des cylindres d'une longueur exagérée, si la détente devait se faire tout entière dans le même

cylindre. On préfère employer les machines dites *compounds*, composées d'une série de deux, trois ou quatre cylindres, où se détend successivement la même vapeur. Naturellement, ces cylindres, qui fonctionnent en série

5 (chacun d'eux recevant et détendant la vapeur qui s'échappe du cylindre immédiatement précédent), ont des dimensions

10 de plus en plus grandes puisque le volume de la vapeur augmente à mesure que sa pression diminue. Dans les trans-

15 atlantiques, par exemple, il n'est pas rare de trouver des machines à *triple expansion*, c'est-à-dire dans lesquelles la

20 vapeur parcourt successivement trois cylindres; ceux-ci ont des diamètres de l'ordre de 1 mètre, 1 m. 70 et 2 m. 60, avec

25 des courses de l'ordre de 1 m. 70.

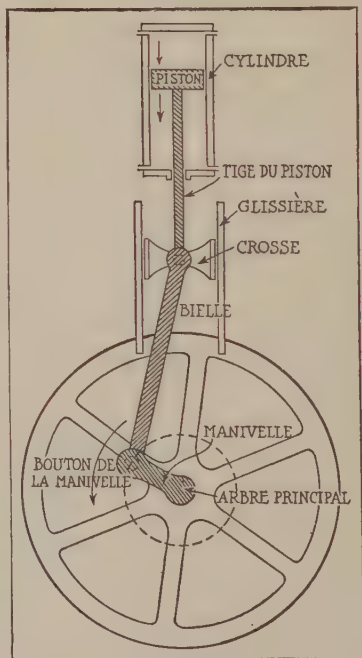


FIG. 13

Les locomotives à *double expansion* sont dès maintenant entrées dans la pratique.

30 Transformation d'un mouvement alternatif en un mouvement circulaire continu; bielle et manivelle. — Le piston porte normalement une *tige* (fig. 13) qui se termine

à la *crosse*, organe intermédiaire entre le piston et la bielle. La crosse assure le guidage du piston; elle est munie de *patins* reposant sur des *glissières* ou *guides*, et porte l'axe sur lequel vient s'articuler la *bielle*.

La bielle transmet l'effort moteur au *tourillon* de la 5 *manivelle*; celle-ci est *fixée* sur l'arbre principal de la machine. Dans la bicyclette, par exemple, le tourillon de la manivelle est l'axe de la pédale; la bielle est la jambe, du pied au genou.

Pendant le mouvement de la machine, le tourillon de la 10 manivelle décrit une circonférence autour de l'arbre; le diamètre de cette circonférence est égal au déplacement rectiligne de la crosse et par conséquent à la course du piston.

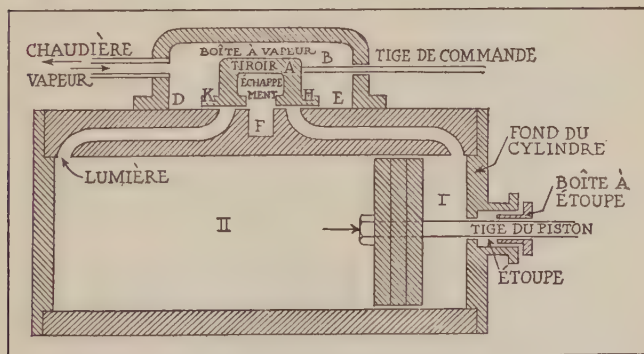


FIG. 14

Distribution de la vapeur; tiroir. — Il s'agit d'obtenir, 15 à des instants convenables, l'admission et l'échappement de la vapeur dans chacun des deux compartiments du cylindre. La solution la plus simple consiste dans l'emploi d'une sorte de boîte glissante appelée *tiroir*.

La figure 14 représente un cylindre avec son tiroir. La vapeur arrive librement dans un espace clos (boîte à vapeur) dans lequel se meut le tiroir *A*, masse de fonte ou de bronze évidée à l'intérieur et dont la face plane *KH* a
5 été travaillée avec soin.

Le tiroir glisse, d'un mouvement rectiligne alternatif, sur la paroi du cylindre rendue également bien plane.

Suivant sa position il met les compartiments *I* ou *II* du cylindre en communication, soit avec la boîte à vapeur,
10 et par conséquent avec la chaudière, soit avec un orifice d'échappement *F* creusé dans la paroi du cylindre, et qui communique avec le condenseur ou avec l'atmosphère.

Le tiroir est fortement pressé contre la paroi plane du
15 cylindre par la pression de la vapeur, ce qui assure l'étanchéité de cette sorte de robinet glissant.

La tige de commande du tiroir est reliée à un excentrique calé sur l'arbre de la machine et qui lui imprime un mouvement alternatif. Le tiroir fait ainsi une course complète
20 (aller et retour) pendant que l'arbre fait un tour, c'est-à-dire pendant que le piston fait lui-même une oscillation complète.

Nature du mouvement des machines; volants. — Dans une machine à vapeur, la vapeur n'agit que d'une manière
25 intermittente et exerce une force essentiellement variable avec la position du piston.

D'autre part, les travaux *résistants* (travail dépensé à tourner des métaux, à actionner des scies, ...) ne sont guère plus continus et n'ont aucun lien nécessaire avec
30 les travaux moteurs.

La vitesse des organes d'une machine risque donc d'être très variable. On conçoit sans peine que cette variabilité

continuelle soit une gêne très grave pour la bonne exécution du travail. L'emploi des *volants* permet de la supprimer aussi complètement qu'on le veut.

On appelle *volant* une roue lourde, mise en rotation par la machine.

5

Le volant fonctionne comme un réservoir d'énergie. Quand le travail résistant l'emporte sur le travail moteur, la vitesse tend à diminuer; cette diminution est enrayée en grande partie par le volant qui cède alors une portion de sa réserve d'énergie, car la moindre diminution de vitesse du volant correspond pour lui à une perte considérable d'énergie. L'inverse se produit quand le travail moteur dépasse le travail résistant; la tendance à l'accélération est alors partiellement contrebalancée par l'emmagasinement d'énergie qui se produit dans le volant dès que sa vitesse augmente.

10

15

Naturellement il faut des volants d'autant plus puissants que les travaux moteurs ou résistants sont plus variables.

Prenons comme cas extrême celui des *laminoirs*. Ils se composent de deux cylindres entre lesquels on fait passer les pièces à étirer; les cylindres sont mis en rotation par un moteur muni d'un volant. Tant qu'il n'y a rien entre les cylindres, la machine prend un mouvement accéléré, le volant emmagasine du travail. Mais aussitôt que le métal à étirer vient en prise, le travail de la résistance l'emporte, la vitesse diminue, et le volant restitue, en quelques secondes, le travail qu'il avait mis plusieurs minutes à absorber. C'est par millions de kilogrammètres que se chiffre l'énergie emmagasinée par le volant attelé sur les machines conduisant les laminoirs destinés à transformer les lingots d'acier en rails, fer à T, etc.

20

25

30

Ici le volant intervient pour permettre à la machine un coup de collier dont elle serait incapable sans lui.

Les volants sont évidemment inutiles sur les locomotives et les machines marines: les masses en mouvement sont 5 énormes et régularisent d'elles-mêmes la vitesse. Cependant, si le mouvement est très lent, comme la vitesse intervient dans la force vive par son carré, des masses même considérables n'emmagasinent que peu de travail: il faut un volant. Ainsi dans les machines qui servent à écraser 10 les pierres sur les routes, on peut voir un disque tourner à grande vitesse: c'est un volant. Son emploi s'impose, malgré la grande masse de la machine (plus de 10 tonnes), à cause de la très faible vitesse.

BOUASSE ET BRIZARD: *Physique*, Librairie Ch. Delagrave, Paris

XVI. Moteur à Explosion — Moteurs à deux Temps

Moteur à explosion. — C'est le but du carburateur de 15 préparer un mélange de vapeur d'essence et d'air dans les proportions reconnues les meilleures pour obtenir une inflammation facile, suivie d'une combustion rapide et complète. Il s'agit maintenant d'introduire ce mélange dans le cylindre, de l'y enflammer, de faire agir sur le piston les 20 gaz résultant de la combustion et d'évacuer ces gaz, après qu'ils auront effectué sur ce piston leur poussée motrice.

Interviennent pour faire passer le mélange par ces phases successives:

1. le piston, dont le va-et-vient détermine non seule- 25 ment l'aspiration du mélange, mais aussi l'évacuation des gaz brûlés;

2. l'appareil d'allumage, chargé d'enflammer le mélange, et enfin:

3. la *distribution*, qui *établit* et qui *supprime*, à l'instant voulu, la communication du cylindre, d'une part, avec le carburateur pour l'admission, et, d'autre part, avec l'ex- 5
térieur pour l'évacuation.

Quand les orifices d'admission et d'échappement doivent-ils être ouverts et fermés?

(a) *Admission*. — Quand le piston est sur le point d'aspirer le mélange, il occupe sa position extrême supérieure; 10

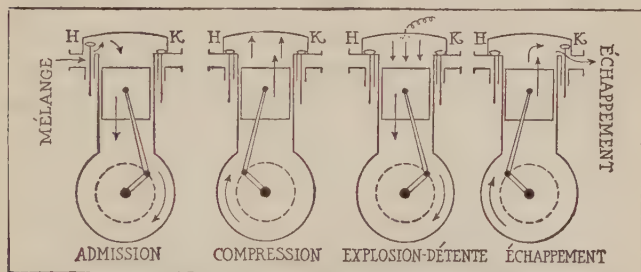


FIG. 15. — CYCLE À QUATRE TEMPS

le mécanisme de distribution découvre l'orifice d'admission *H* (fig. 15); l'orifice d'échappement *K* est fermé.

Le vilebrequin est entraîné par le volant, qui, par suite de sa masse, ne peut perdre instantanément sa vitesse. Il tourne, et, par l'intermédiaire de la bielle, fait descendre 15
le piston jusqu'à sa position extrême inférieure. Le mélange est aspiré pendant toute cette course. En fin de course, l'orifice d'admission *H* est fermé.

(b) *Compression*. — Continuant à être entraîné par le volant, le vilebrequin poursuit sa rotation; le piston ac- 20
complit sa course ascendante pendant laquelle les deux

orifices d'admission H et d'échappement K demeurent fermés.

Le mélange occupe ainsi une capacité: le cylindre et la chambre d'explosion, sans communication ni avec le carburateur, puisque H est fermé, ni avec l'extérieur, puisque K l'est également.

Au fur et à mesure que le piston s'élève, le volume du mélange gazeux se réduit et sa pression augmente, de sorte que le piston éprouve de la part du mélange une résistance de plus en plus grande qui croît proportionnellement à la réduction du volume. Si, par exemple, au début du mouvement ascendant du piston, ce mélange occupe un volume de $1 \text{ dm}^3, 200$ et est à la pression atmosphérique et si, en fin de course, ce volume se trouve réduit au quart, c'est-à-dire à $0 \text{ dm}^3, 300$, la pression est plus que quadruplée.

(c) *Explosion et détente.* — Malgré cette résistance croissante, le piston, poussé par la bielle, parvient jusqu'au haut de sa course. C'est le moment choisi pour faire jaillir l'étincelle: le mélange prend feu autour de celle-ci; la flamme gagne de proche en proche toute la masse du gaz et assez rapidement pour que le piston qui descend ne soit pas encore très éloigné de son point le plus haut quand la combustion est terminée.

Cette combustion est accompagnée d'un fort dégagement de chaleur: un peu plus de la moitié de cette chaleur s'incorpore, pour ainsi dire, aux gaz résultant de la combustion; le reste pénètre dans les parties métalliques voisines: parois du cylindre, piston.

La température des gaz s'élève donc et ces gaz tendent à se dilater. Mais les orifices d'admission H et d'échappement K sont fermés et le piston s'oppose, dans une certaine mesure, à une augmentation de volume. Alors la

pression de ces gaz s'accroît et devient 4 à 5 fois ce qu'elle était au début de l'inflammation.

Cette pression agit sur le piston. Celui-ci est lancé violemment, comme le serait un projectile, et, par la bielle, il donne au vilebrequin ainsi qu'à son volant une impulsion 5 suffisamment énergique pour actionner tout le système: vilebrequin, bielle, piston, jusqu'à ce que l'explosion suivante se produise.

Au fur et à mesure que le piston descend, les gaz occupent un volume de plus en plus grand; leur pression 10 diminue, ainsi du reste que leur température. On dit que les gaz se *détendent*. Lorsque le piston arrive au bas de sa course, la pression se trouve réduite au $\frac{1}{5}$ environ de sa valeur après l'inflammation. C'est alors que l'obturateur découvre l'orifice d'échappement *K*. 15

(d) *Échappement*. — Grâce à l'impulsion reçue, le système: vilebrequin, volant, continue à tourner et fait remonter le piston qui chasse devant lui les gaz brûlés. Cette évacuation par le conduit d'échappement — l'orifice d'admission demeurant encore fermé — se produit jusqu'à 20 la fin de la course ascendante. A ce moment, l'orifice d'échappement se ferme; l'orifice d'admission s'ouvre, afin que le piston, qui va descendre à nouveau, puisse déterminer une aspiration de mélange frais, et ainsi de suite.

C'est donc après chaque période de deux tours du vile- 25 brequin, ou de quatre courses du piston, que se retrouve dans le cylindre un mélange sous le même état, soumis à la même opération, et que les obturateurs d'admission et d'échappement se représentent dans la même position. Un moteur ayant ce régime est dit à *quatre temps*. 30

Le vilebrequin se trouve donc un peu dans les mêmes conditions qu'une manivelle sur la poignée de laquelle la

main n'exercerait un effort que pendant un demi-tour sur deux tours; pendant les trois autres demi-tours, la main se bornerait à accompagner la poignée dans sa rotation.

Importance de la compression. — Pendant le deuxième
5 temps, le mélange, progressivement comprimé, oppose à la montée du piston une résistance croissante qui serait suffisante pour arrêter le mécanisme si le volant n'avait pas été assez fortement lancé lors de l'explosion précédente ou si le poids de ce volant était trop faible.

10 Le piston étant parvenu au haut de sa course, supposons qu'il n'y ait pas inflammation du mélange. Ce mélange tend à reprendre son volume initial, c'est-à-dire celui qu'il avait à la fin du premier temps. Comme dans la course de compression, le mélange presse sur le piston, mais avec
15 cette différence que, cette fois, le piston peut obéir à cette pression et actionner réellement le vilebrequin.

Le mélange combustible se comporte donc comme un véritable ressort: aux pertes près, il rend en se détendant le travail qu'il avait fallu fournir pour le comprimer. Si,
20 pendant la compression, le vilebrequin a une tendance à ralentir, il tend au contraire à accélérer son allure pendant la détente et les deux effets se compensent sensiblement.

Réduite à ce rôle d'être la cause d'effets successifs contraires sur le piston, la compression apparaîtrait sans
25 utilité. Et cependant, l'expérience montre qu'elle est indispensable au bon fonctionnement du moteur:

1. en raison de la rapidité avec laquelle elle se produit, elle opère un *brassage énergétique* des molécules; elle détermine ainsi, dans toute la masse, l'uniformité de répartition
30 des molécules de vapeur d'essence et des molécules d'oxygène, uniformité indispensable pour assurer une combustion complète;

2. elle est accompagnée d'un *dégagement important de chaleur*; la paroi du cylindre étant à une température plus élevée que le mélange admis, il en résulte que la chaleur dégagée par la compression demeure tout entière incorporée dans ce mélange, la température du gaz croît jusque 5 vers 170° et s'approche ainsi de celle qui est nécessaire pour l'inflammation: l'allumage par l'étincelle se trouve par cela même mieux assuré;

3. du fait que les molécules sont pressées les unes contre les autres, et que leur température est assez élevée, *l'in-* 10 *flammation se propage dans la masse avec plus de rapidité* et c'est là, ainsi qu'il a déjà été dit, une condition indispensable pour que le piston reçoive une impulsion énergétique;

4. pendant la combustion du mélange, la température 15 s'élève très rapidement; elle atteint, presque instantanément, 1500° environ. La dilatation des gaz ne pouvant s'opérer librement, car le piston ne se déplace pas assez vite pour qu'il en soit ainsi, c'est leur pression qui augmente; elle devient 4 à 5 fois ce qu'elle était en fin de 20 compression. *La poussée sur le piston est donc d'autant plus grande que la compression a été plus forte.* Et cela est vrai, même si l'on tient compte de la fraction de cette poussée qui correspond à la récupération du travail momentanément perdu pendant la compression. 25

Nécessité de limiter la compression. — Puisque la compression est une source de gain, puisque ce gain est d'autant plus marqué que la compression est plus forte, il semble qu'il y ait intérêt à l'augmenter le plus possible. Or, l'on serait vite arrêté dans cette voie: 30

1. un trop grand effort exercé brusquement sur le piston au moment de l'explosion *fatiguerait exagérément les articu-*

lations de la bielle avec la traverse du piston et avec le vilebrequin;

2. une pression trop élevée pendant l'explosion exigerait des *parois de cylindre plus épaisses*, et, conséquemment, 5 entraînerait une augmentation de poids du moteur;

3. la température en fin d'explosion devenant plus élevée, il serait nécessaire *d'accroître l'efficacité de la réfrigération*, sans quoi l'intérieur du cylindre cesserait d'être maintenu à une température convenable pour le 10 graissage;

4. en fin ou même en cours de compression, la température s'élevant démesurément pourrait atteindre un degré tel que le *mélange prendrait feu de lui-même*, et cela, d'une façon irrégulière, c'est-à-dire pour des positions variables 15 du piston, selon le poids et la richesse de la cylindrée ou l'encrassement des parois de la chambre d'explosion.

C'est pour ces diverses raisons que la compression en volume doit avoir pour limite de 4 à 4,5, c'est-à-dire que le volume occupé par le mélange au début de la compression ne doit pas dépasser 4 fois à 4 fois $\frac{1}{2}$ celui auquel 20 il est réduit en fin de compression. La pression maxima pendant l'explosion est ainsi voisine de 25 fois la pression atmosphérique.

Organes qui ouvrent et ferment les orifices d'admission 25 et d'échappement. (a) *Soupapes*. — Le plus souvent, ces orifices sont pourvus d'obturateurs dits *soupapes*. Les soupapes d'admission et d'échappement sont semblables.

Chacune d'elles comprend un *disque* ou *tête A* (fig. 16) muni d'une *tige* ou *queue B*. Le tout ressemble assez, 30 comme forme, à un champignon, d'où la dénomination courante de *soupape à champignon*.

Le disque est la partie essentielle du dispositif d'obtura-

tion. Sa partie inférieure présente une surface *a*, le plus souvent conique.

Cette surface peut venir reposer sur une surface identique *c* que présente le *siège* fixe *C*.

La queue *B* sert de *guide*: elle coulisce dans une douille 5

D et, lors de la chute, oblige ainsi la tête à tomber correctement sur son siège pour assurer l'étanchéité. 10

Le disque *A* porte une fente *d* dans laquelle on peut engager un tournevis quand il est nécessaire de tourner la soupape pour 15 la roder.

(b) *Montage des soupapes.* — Les soupapes sont montées de telle façon que la pression qui règne 20 dans le cylindre pendant les périodes de compression, d'explosion et de détente, les applique sur leur siège. Ces soupapes 25

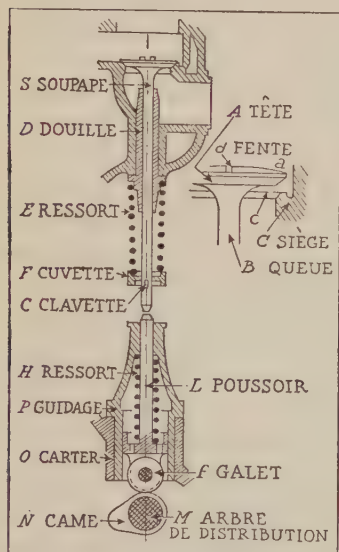


FIG. 16

s'ouvrent donc vers l'intérieur.

Un ressort *E* est prévu pour les ramener sur leur siège et pour s'opposer à la levée de la soupape d'échappement sous l'effet de succion du piston pendant l'aspiration. Ce ressort s'appuie sur une cuvette *F* retenue par une cla- 30 vette *C*.

(c) *Disposition des soupapes.* — Les deux soupapes d'un

même cylindre peuvent être en face l'une de l'autre, ou à côté l'une de l'autre.

La première disposition donne un moteur plus symétrique, mais un peu plus lourd; les soupapes et les ressorts
5 sont plus accessibles — avantage particulièrement marqué lorsqu'il s'agit de plusieurs cylindres — les tuyauteries d'admission et d'échappement, plus commodes à disposer.

Malgré ces avantages, la plupart des constructeurs préfèrent la seconde disposition: elle ne nécessite qu'un seul
10 arbre de distribution au lieu de deux, et il en résulte un mécanisme plus simple.

(d) *Commande des soupapes.* — Il s'agit de lever les soupapes, lorsque le vilebrequin occupe une position déterminée, et de les maintenir soulevées pendant que le
15 maneton décrit un arc également déterminé, variable avec la fonction de l'obturateur: aspiration ou échappement.

Ce mouvement de levée est obtenu au moyen de *comes*.

Une came n'est autre chose qu'un disque cylindrique, concentrique à l'arbre de distribution, et sur lequel on a
20 réservé une saillie ou bosse.

Tant que la tige de la soupape demeure en contact avec la partie cylindrique, la soupape est immobile; sa levée commence lorsque l'origine de la saillie attaque la tige. La hauteur de levée est égale à celle de la saillie. La durée de
25 la levée correspond à l'arc compris entre l'origine et la fin de cette saillie. Un fort ressort *E* (fig. 16) rappelle énergiquement la soupape sur son siège quand le contour de la came cesse de pousser la tige. Les rampes qui raccordent le contour inactif à la surface la plus éloignée de l'axe,
30 réduisent les chocs au début de levée et en fin de chute.

Pratiquement, la disposition est moins simple:

1. La soupape doit pouvoir reposer sur son siège. Sa

tige ne peut donc, au montage, être en contact avec le contour inactif de la came: en effet, le disque de la soupape, surtout celui de la soupape d'échappement, est très chaud; la tige s'échauffe par conductibilité, se dilate, et s'il y avait contact entre came et tige, le disque quitterait 5 son siège.

Cet inconvénient est évité, en même temps qu'est diminuée la fragilité de la soupape, par le sectionnement, pour ainsi dire, de la tige en deux tronçons: la queue de la soupape n'a plus que la longueur exigée par le ressort 10 de rappel *E* (fig. 16); elle est prolongée par une seconde tige ou *poussoir L*, également guidée, qui peut être maintenue au contact de la came par un second ressort de rappel *H*.

Entre la queue de la soupape et le poussoir est réservé 15 un jeu de quelques dixièmes de millimètre: 3 à 10 dixièmes. Ce jeu doit évidemment se retrancher de la hauteur de la saillie de la came pour obtenir la hauteur de levée. Il diminue également l'angle de rotation de l'arbre de distribution correspondant à la levée de l'obturateur. 20

2. En attaquant directement le poussoir, la came a une tendance à le faire fléchir. Pour remédier, dans une certaine mesure, à cet inconvénient, on termine ce poussoir par un plateau, de manière que la pression de la came s'exerce sur une surface plane et non sur une arête, ou encore on 25 le munit d'un galet *f* (fig. 16), ce qui ne dispense pas de faire descendre le guidage aussi près que possible de la came.

(e) *Commande de l'arbre de distribution.* — Chaque came d'admission ou d'échappement doit soulever la soupape 30 correspondante une seule fois pendant que le vilebrequin fait deux tours; c'est-à-dire que, pendant cette double révolu-

tion, l'arbre de distribution ne doit faire qu'un tour. Il est donc nécessaire que sa vitesse de rotation égale la moitié de celle du vilebrequin.

Ce rapport est obtenu en calant sur le vilebrequin et
5 sur l'arbre de distribution deux roues dentées, la roue calée sur le vilebrequin ayant un diamètre qui est la moitié du diamètre de l'autre. Ces deux roues engrenent entre elles, ou bien elles sont en prise avec un pignon intermédiaire. Ce pignon permet l'emploi de roues de plus
10 faible diamètre et diminue, en particulier, l'encombrement de celle qui est montée sur l'arbre de distribution.

Dans quelques moteurs, le vilebrequin et l'arbre de distribution reçoivent des roues à chaîne, dont les diamètres sont encore dans le rapport de 1 à 2. La transmission
15 de l'une à l'autre s'opère au moyen d'une chaîne sans fin.

La transmission du mouvement s'opère de la même manière quand il y a deux arbres de distribution.

Les engrenages de distribution sont généralement placés à l'avant du moteur.

A. BOUZY: *L'Automobile*, Librairie de l'Enseignement technique, Paris

LES MOTEURS A DEUX TEMPS

20 Actuellement on emploie beaucoup le moteur à deux temps dans les véhicules automobiles, mais plus particulièrement dans les motocycles et les petites voitures légères. Si sa consommation est un peu plus élevée que celle du moteur à quatre temps, il a du moins sur celui-ci
25 l'avantage de la simplicité; plus de soupapes, plus d'arbre de distribution, plus de graissage spécial; le nombre des pièces qui composent un bi-temps est ainsi considéra-

blement réduit. Son fonctionnement diffère d'ailleurs sensiblement de celui d'un quatre-temps. Il donne régulièrement une explosion par tour et les gaz, avant d'être

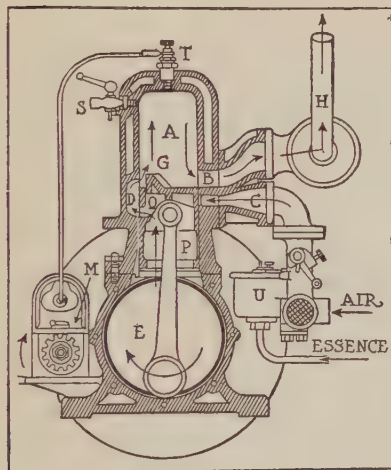


FIG. 17. — COUPE DU MOTEUR À DEUX TEMPS POUR AUTO, LE PISTON ÉTANT À FOND DE COURSE

A, cylindre; B, orifice d'échappement; C, orifice d'aspiration; H, tube d'échappement; U, carburateur; P, piston; O, lumière donnant passage aux gaz allant au cylindre; D, poche; E, carter; G, déflecteur; M, magnéto; T, bougie pour l'allumage électrique; S, décompresseur.

admis dans le cylindre, subissent déjà, dans le carter du moteur, un commencement de compression.

Si, se reportant à la figure 17, on suppose le piston en haut de course, on voit que l'orifice C, qui communique avec le carburateur, se trouvera découvert; le gaz carburé pénètre donc dans le bas du cylindre et vient remplir le carter du moteur. Le piston chassé par l'explosion, descend, obture l'orifice et comprime légèrement le gaz dans le carter; mais, arrivé à fond de

course, il découvre l'orifice B par où les gaz brûlés s'échappent à l'extérieur. En outre, le piston possède lui-même sur sa face opposée aux orifices B et C, une lumière O qui, à fond de course, vient se placer en regard

d'une poche *D* ménagée à l'intérieur de la paroi du cylindre, de telle sorte que, par cette lumière et par la poche, le carter et le cylindre sont mis en communication et que le gaz qui a déjà été comprimé dans le carter
5 passe dans le cylindre.

A sa partie supérieure, le piston porte une sorte de renflement *G* que l'on nomme le déflecteur et dont le rôle est le suivant: quand le gaz comprimé venant du carter inférieur se précipite par la poche dans le cylindre, il se
10 heurte à la face du déflecteur et se trouve ainsi projeté vers le haut du cylindre, chassant devant lui le reste des gaz que l'étincelle électrique allume quand il arrive au sommet de sa course. A ce moment, le cycle recommence. Ainsi donc, sans soupapes, sans ressorts ni tiges pour les
15 commander, sans arbre à cames pour les lever et les fermer, mais par le simple jeu du piston qui découvre et obture, tour à tour et au moment voulu, les orifices ingénieusement ménagés dans le cylindre, le jeu des gaz s'opère et les explosions se produisent.

20 Le moteur à deux temps n'exige pas un graissage spécial. L'huile est mélangée à l'essence dans la proportion de 5 à 6%. Elle arrive dans le cylindre, avec les gaz frais, sous la forme de fines gouttelettes qui se déposent en majeure partie sur toutes les pièces en mouvement et les parois
25 du carter. De plus, au moment de l'explosion, ces gouttelettes sont projetées en tous sens et viennent se coller sur les parois du cylindre. Le piston dans son mouvement de va-et-vient, racle l'huile qui, suintant le long des parois, graisse les coussinets du moteur.

30 La très grande simplicité du moteur à deux temps permet de le faire tourner à des régimes élevés. Sa puissance, toutefois, qui, théoriquement, devrait être à peu près

double de celle d'un quatre-temps de capacité égale, lui est inférieure d'un quart environ.

La Science et la Vie, Paris

XVII. Les Turbines hydrauliques modernes

Si la richesse de la France en houille blanche est loin d'être rationnellement exploitée, il ne faut pas imputer

cette négligence à 5
l'incapacité de ses ingénieurs.

C'est, en France, en effet, que sont nées les grandes idées 10
fécondes qui ont permis d'utiliser avec succès cette merveilleuse source d'énergie, pratique 15
et économique.

La puissance des cours d'eau et des chutes était autrefois captée au moyen de 20
roues hydrauliques qui, en général, actionnaient des moulins et des scieries.

25

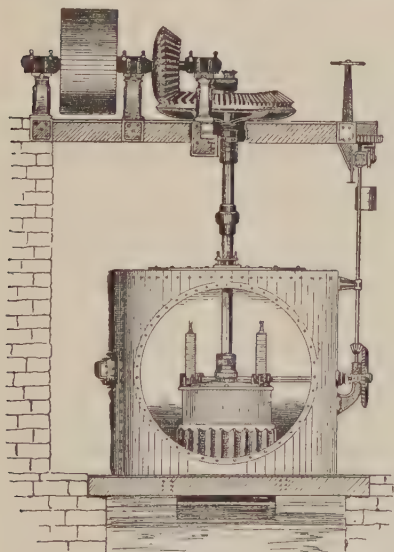


FIG. 18. — SCHÉMA D'UNE TURBINE
MODERNE

Dans ce genre de moteurs, l'eau arrive sur un petit nombre de palettes, sans être guidée, et, après avoir agi soit par son poids (roue en dessus), soit par son impulsion

(roues en dessous), elle les quitte par le bord même qu'elle a attaqué. L'eau accomplit donc ainsi un double trajet dont un seul est moteur. L'impossibilité d'utiliser une hauteur de chute supérieure à quelques mètres limite le
5 maximum de puissance que l'on peut attendre de ces premiers appareils.

Cet inconvénient, joint à la faiblesse de leur rendement et de leur vitesse, a fait abandonner rapidement les roues hydrauliques à aubes dès qu'ont paru les premières tur-
10 bines, inventées par Fourneyron et par Fontaine, vers 1830.

Au début de leur application à l'industrie, les turbines, équipées alors pour de faibles chutes, remplacèrent un certain nombre de roues à aubes. Actuellement, elles sont
15 particulièrement employées pour la commande de générateurs d'électricité, car cette forme d'énergie est à la fois souple, facilement transportable à de très grandes distances et, dans bien des cas, plus économique que d'autres. Grâce à l'utilisation presque complète de la puissance des chutes dont on dispose, on a pu obtenir, au moyen des turbines
20 modernes, des forces utiles insoupçonnées jusqu'ici (fig. 18).

On construit actuellement des moteurs hydrauliques de 35.000 chevaux et même, pour l'utilisation des chutes du Niagara, on a établi une turbine de 55.000 chevaux. Nous sommes loin de la première turbine de Fourneyron de
25 1827, qui se composait essentiellement de deux parties bien distinctes, une roue motrice mobile et un distributeur circulaire fixe qui a pour but de guider l'eau à son arrivée dans la turbine. Le distributeur était formé de deux couronnes entre lesquelles sont disposées de minces cloisons
30 ou directrices, ayant pour effet de diviser la masse d'eau en filets et de les diriger sur les aubes incurvées de la roue mobile de la machine.

Contrairement à ce qui se passe pour les roues hydrauliques, l'eau, après avoir travaillé, quitte les aubes par le bord opposé à l'arête d'attaque. Si l'on songe que la vitesse de rotation des turbines est de beaucoup supérieure à celle des roues, on comprendra l'avantage de cette disposition qui évite toute dépense inutile d'énergie en tourbillons ou mouvements tumultueux. 5

La turbine Fourneyron étant du type à axe vertical, on a pendant longtemps différencié les turbines hydrauliques des roues primitives suivant la position de leur arbre. 10

Dans ces premiers appareils, le distributeur se trouvait à l'intérieur de la roue mobile. L'eau arrivait donc par le centre, traversait complètement la turbine en suivant un trajet sensiblement perpendiculaire à l'arbre et s'échappait par la périphérie dans un canal de fuite. Le parcours de 15 l'eau dans ce genre de moteurs hydrauliques leur a fait donner le nom de *turbines centrifuges*. Le réglage du débit de l'eau était obtenu par la manœuvre d'un tiroir cylindrique, placé entre le distributeur et la roue et qui pouvait faire varier avec la charge la section d'admission 20 des canaux formés par les aubes de la roue.

En 1839, Fontaine construisit la première turbine *hélicoïde* ou *parallèle* qui comprenait les mêmes parties essentielles que celle de Fourneyron. Le distributeur était placé non plus au centre, mais au-dessus de la roue mobile, 25 et l'eau traversait la turbine de haut en bas, suivant un trajet sensiblement parallèle à l'axe vertical. Le réglage de l'arrivée d'eau, ou vannage, était réalisé au moyen de deux cônes métalliques, mobiles autour d'un axe, et qui servaient à enrouler ou à dérouler une bande de cuir afin 30 d'obstruer ou de déboucher à volonté un certain nombre des orifices d'entrée du distributeur.

On était loin encore des rendements réalisés aujourd'hui, car les appareils utilisaient mal les basses chutes auxquelles, toutefois, ils s'appliquaient uniquement.

En 1849, parut une nouvelle turbine dite *centripète*, dont
5 le premier modèle construit fut installé à la poudrerie du Bouchet, près Corbeil (Seine-et-Oise). Comme les précédentes, elle était constituée de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile, mais l'eau, arrivant par la périphérie du distributeur qui entourait complètement la roue, traversait cette
10 dernière et s'échappait par le centre dans le canal de fuite.

Quel que soit le type de turbine que l'on considère, le fonctionnement en est facile à comprendre. L'eau sous pression, guidée par les directrices, sort du distributeur avec une certaine vitesse, puis traverse la roue dont les
15 aubes la dévient. La pression de l'eau réagit sur ces dernières et la turbine se met à tourner autour de son axe.

La recherche de l'utilisation de chutes de plus en plus hautes a conduit à la découverte d'une nouvelle catégorie de turbines.

20 Dans celles que nous venons d'énumérer l'eau agit simplement par sa pression sur les aubes de la roue mobile; ce sont les *turbines à réaction*.

Or, on a pensé que la force vive acquise par l'eau, quand on utilise de hautes chutes, étant proportionnelle au carré
25 de sa vitesse, il serait préférable de faire agir, non plus la pression, mais cette vitesse elle-même. C'est en partant de cette idée qu'ont été créées les *turbines à action* ou *turbines d'impulsion*.

Les turbines à réaction, aussi bien que les turbines à
30 action, peuvent être parallèles, centrifuges, centripètes, ou parallèles centripètes, suivant le sens dans lequel a lieu la progression de l'eau.

Actuellement, on ne construit plus que des turbines centripètes à réaction et un genre spécial de turbines à action auxquelles on a donné le nom de roues Pelton (fig. 19).

L'inventeur américain Francis a perfectionné les tur-

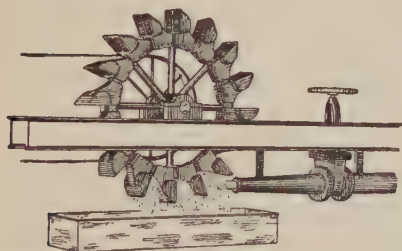


FIG. 19. — LA ROUE PELTON

bines centripètes 5
qu'il a rendues ap-
plicables aux basses
et aux moyennes
chutes. Le cas des
très petites chutes 10
(inférieures à 0 m.
50) donne lieu à des
solutions particu-
lières où peuvent
encore intervenir 15

avec succès les turbines Fontaine et autres basées sur des principes semblables.

C'est grâce à un tracé rigoureux des directrices et des aubes, ainsi qu'à un vannage bien étudié, que Francis a obtenu un rendement pouvant dépasser 85% pour les 20 puissances élevées. A ce sujet, il est curieux de remarquer que tandis qu'en Amérique c'est empiriquement, par retouches successives, que l'on est arrivé à ce tracé exact, en France, le calcul, basé sur l'expérience, a uniquement servi à la recherche du tracé rationnel des aubes. 25

L'eau doit sortir du distributeur avec une vitesse et dans une direction telles, qu'en tenant compte de la vitesse normale de la roue, elle ne choque pas les aubes. Celles-ci ne doivent pas présenter de coudes brusques qui occasionne- raient des mouvements tumultueux et des pertes d'éner- 30 gie. Au besoin, on les allonge beaucoup pour obtenir des courbes très douces. Ce n'est que par l'étude minu-

tieuse des trajets des molécules liquides, et en diminuant successivement les différentes pertes, que l'on est arrivé à obtenir actuellement des rendements élevés.

Dans les installations modernes, le vannage s'obtient
5 d'une façon particulière. Plus de tiroirs cylindriques entre la roue et le distributeur, comme dans la turbine Fourneyron; plus de diminution du nombre des orifices d'entrée (turbine Fontaine): le débit de l'eau est réglé en faisant varier la section des canaux eux-mêmes du distributeur. C'est Finck qui, pour éviter l'étranglement et
10 les pertes d'énergie résultant de l'application des anciennes méthodes, eut l'idée de rendre chaque directrice mobile autour d'un axe. Tous ces axes étant commandés à la fois, soit à la main, soit par le régulateur de vitesse, on
15 peut réaliser le vannage et obtenir le meilleur rendement en conservant tous les orifices ouverts et en gardant aux canaux du distributeur la forme appropriée et calculée pour éviter tous les étranglements.

On peut ainsi répondre à une autre condition très im-
20 portante. En effet, on demande aux machines de pouvoir marcher dans des conditions de rendement acceptables dans les limites variant entre la demi-charge et la pleine charge. On les calcule donc pour qu'elles marchent au maximum de rendement à trois quarts de charge. Il était
25 donc intéressant d'obtenir le meilleur rendement, non plus pour la pleine charge, mais pour les trois quarts environ du débit d'eau total. L'invention des directrices mobiles a fourni la solution de ce problème. Il suffit, en effet, de calculer un distributeur et une roue pour les trois quarts
30 du débit maximum de la conduite d'amenée d'eau et d'assurer aux directrices une ouverture supplémentaire permettant de l'écouler. Étant donné les sections fixes

des canaux de la roue, à pleine charge, le rendement pourra ainsi avoir baissé de 2% à 3%; il sera maximum pour les trois quarts de la charge.

On s'aperçut bientôt que le système Finck présentait un grave inconvénient. Malgré le soin apporté dans l'organisation de la prise d'eau: chambres de décantation, grilles, etc., on ne peut éviter complètement l'entraînement de sables et de cailloux jusque dans les organes intérieurs des turbines. Or, si un corps dur est coincé entre deux directrices voisines à l'instant précis où le régulateur de vitesse fonctionne, deux cas sont à envisager: ou bien le régulateur est impuissant à fermer le vannage malgré cet obstacle et un emballement se produit, ou bien la directrice cède, se casse, et on peut craindre alors l'accident connu sous le nom de *salade d'aubes*, c'est-à-dire que les morceaux de cette directrice, entraînés par la violence du courant d'eau, peuvent venir briser les aubes de la roue mobile. Pour éviter cet inconvénient, on a rendu élastique la commande du mouvement des directrices mobiles en intercalant des ressorts à boudins dans la transmission.

L'ensemble formé par la roue et par son distributeur est enfermé dans une bêche de fonte ou de ciment armé dont la section longitudinale présente la forme générale d'une spirale. L'eau arrivant de la conduite forcée pénètre dans cette bêche. Pendant sa progression, elle rencontre les orifices du distributeur et entre dans la turbine. Il est donc naturel que la section de la bêche diminue au fur et à mesure que le volume d'eau à diriger devient moins considérable.

Au sortir de la roue, le fluide passe dans le tuyau d'aspiration, dont nous parlons plus loin, et qui amène l'eau à une vitesse très réduite dans le canal de fuite.

Nous exposerons ci-après les principales des nombreuses causes d'affaiblissement du rendement des turbines et les remèdes que l'on y apporte dans les usines modernes.

On combat les pertes dans le distributeur en employant
5 des directrices à courbure très douce. De plus, l'eau sortant du distributeur vient frapper l'arête des aubes, d'où des rejaillissements dont on atténue les effets en taillant le bord des directrices et des aubes en forme de biseaux très allongés.

10 Comme pour le distributeur, on augmente le plus possible les rayons de courbure des aubes afin de réduire au minimum les pertes dans la roue mobile en évitant tout choc.

L'énergie correspondant à la portion de la hauteur de
15 chute comprise entre la turbine et le niveau dans le canal de fuite serait perdue si l'on n'avait recours à un artifice consistant dans l'emploi d'un tuyau d'aspiration. On obvie ainsi aux pertes de la brusque diminution de vitesse de l'eau. Le tuyau d'aspiration, de forme progressivement
20 croissante, plonge dans l'eau du canal de fuite et, sa section augmentant, la vitesse de l'eau est progressivement amenée à une faible valeur.

Grâce au tuyau d'aspiration, la turbine, qui tourne dans l'eau, peut être placée au-dessus du niveau du bief d'aval,
25 sans qu'on perde rien de la chute, pourvu que la hauteur du point le plus haut de la roue mobile soit nettement inférieure à 10 m. 33, c'est-à-dire à la valeur de la pression atmosphérique mesurée en eau. De ce fait, la visite des organes est rendue plus facile, surtout dans le cas des
30 turbines à axe vertical.

Un point délicat de la construction des turbines modernes de grande puissance à axe vertical est, sans nul doute,

la fixation de l'arbre. Autrefois, l'axe d'une turbine verticale reposait sur un pivot et sur une crapaudine nécessairement noyés, ce qui rendait difficile leur graissage et leur surveillance. Aujourd'hui, l'arbre est suspendu sur un pivot, hors de l'eau, à injection d'huile sous pression, 5 souvent muni de billes ou de rouleaux d'acier dur. Cette disposition nécessite une construction particulièrement soignée et surtout un guidage parfait des parties tournantes, toujours très lourdes.

Les turbines à réaction, généralement utilisées pour les 10 basses et pour les moyennes chutes, tournent à des vitesses assez réduites. Or, pour construire économiquement les générateurs d'électricité, on tend de plus en plus à leur donner des vitesses de rotation élevées. On est donc obligé de se servir de transmissions par courroies ou par 15 engrenages, ce qui diminue le rendement de l'installation. Cette solution est d'ailleurs impossible pour les grandes puissances. On a cherché à augmenter la vitesse des turbines à réaction, de façon à pouvoir caler sur le même arbre le moteur hydraulique et le générateur électrique. 20 L'emploi de turbines multiples a permis la réalisation de ce desideratum.

On a construit des turbines Francis utilisant des chutes comprises entre 150 et 300 mètres, alors qu'il y a peu de temps ces chutes étaient réservées aux turbines d'impul- 25 sion et spécialement aux roues Pelton.

D'après la définition que nous avons donnée, l'eau agit dans les turbines d'impulsion par la vitesse qu'elle a acquise dans la conduite forcée.

Il a existé dans certaines usines, aujourd'hui pour la 30 plupart transformées, des turbines limites, comprises entre les deux classes de ces appareils dites à action et à réaction,

et dans lesquelles les canaux de la roue moulent très exactement la veine liquide.

Si cette dernière ne remplit pas les espaces compris entre les aubes, on arrive à la notion de la libre déviation, due à
5 Girard. Dans de telles turbines, les canaux étant incomplètement remplis, doivent être alimentés d'air par des *évents* qui ont le défaut de diminuer la résistance de la couronne de la roue soumise à la force centrifuge pendant sa rotation. C'est pourquoi, actuellement, on garde les
10 joues pleines, c'est-à-dire qu'on supprime les événements, et on tient l'entrée de la roue plus large de quelques centimètres que la sortie du distributeur. Ces turbines tournent dans l'air et ne comportent donc pas de tuyau d'aspiration. De même, dans ce cas, l'injection peut être partielle,
15 c'est-à-dire que le distributeur fixe ne recouvre qu'un certain nombre des aubes de la roue.

Ces turbines, abandonnées aujourd'hui, sont remplacées par les roues Pelton.

Avec les turbines Francis à réaction, les roues Pelton
20 sont les seuls moteurs de ce genre employés dans les installations modernes. Elles s'appliquent merveilleusement au cas des hautes chutes, bien que donnant encore de bons rendements avec les chutes moyennes.

Leur fonctionnement est excessivement simple: l'eau
25 sous pression est dirigée sous forme de jet par une ou plusieurs buses ou injecteurs sur des augets répartis à la périphérie d'une roue dont l'axe est généralement horizontal.

De la forme de la buse et des augets ainsi que de la répartition de ceux-ci sur la roue dépendra le bon ren-
30 dement de la turbine d'impulsion.

Les augets furent d'abord constitués par deux demi-cylindres accolés, de sorte que leur section présentait la

forme d'un *oméga* ouvert. Ils étaient donc limités par deux fonds sur lesquels l'eau venait buter. Il se formait des tourbillons et le rendement était faible.

Actuellement, les augets présentent la forme indiquée sur la figure 20. On a échancré la partie antérieure, qui 5 était rencontrée par le jet avant l'arête médiane, ce qui

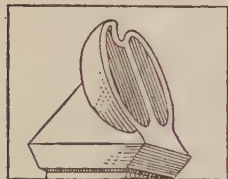


FIG. 20

produisait un effet de recul en sens inverse de la rotation normale. La forme cylindrique a été abandonnée et les augets actuels sont formés de 10 deux demi-ellipsoïdes accolés, l'arête médiane restant rectiligne. Ainsi l'eau peut s'échapper et les tourbillons sont évités. On améliore

sensiblement le rendement en travaillant à la meule la 15 surface intérieure des augets, que l'on polit et dont on dresse exactement l'arête médiane. Le jet d'eau, dont le diamètre est, en général, égal au tiers de la hauteur de l'arête, se divise en deux en frappant sur cette dernière, réagit sur les demi-ellipsoïdes et s'échappe par les bords. 20 On peut donc considérer chaque demi-auget comme l'aube d'une turbine hélicoïde. Une roue Pelton est, théoriquement, une turbine hélicoïde double.

La répartition des augets sur la roue est telle que leur nombre soit minimum, tout en remplissant la condition 25 d'utiliser complètement le jet sans perte d'aucune particule d'eau. Le mode de fixation des augets est particulièrement important car ils doivent résister, non seulement à la pression de l'eau et aux vibrations du mécanisme pendant la marche, mais encore à l'effort de la force centrifuge, 30 souvent considérable puisque ces turbines sont destinées à tourner à grande vitesse.

Dans les machines de faible puissance, les augets sont venus de fonte avec la roue. Généralement, on les coule en acier moulé et ils sont fixés à la roue soit par des boulons, soit par un assemblage en queue d'aronde. Quel-
15 quefois aussi, ils forment une couronne entière solidement fixée au disque de la roue par des boulons exactement ajustés. Le vannage, particulièrement simple, est opéré au moyen d'un robinet à pointeau.

Il pourrait sembler *a priori*, que la présence de ce poin-
10 teau, au centre de la buse d'arrivée d'eau, soit pour la veine liquide une source de frottements susceptibles de diminuer le rendement. Or, l'effet de ces frottements supplémentaires amène, au contraire, une amélioration du fonctionnement. On sait que lorsqu'un jet sort sous pres-
15 sion d'un orifice à section circulaire, il ne conserve que sur une petite longueur la forme cylindrique et qu'il devient rapidement divergent. Ceci provient du frottement qu'ont subi les molécules liquides périphériques et qui a diminué leur vitesse, d'où projection de gouttelettes vers
20 l'extérieur. La présence de l'aiguille au centre de la buse produit le même effet retardateur dans le jet, et celui-ci présente l'apparence d'une véritable barre liquide, cylindrique et homogène sur une assez grande longueur. Le régulateur de vitesse agit donc sur l'aiguille centrale et
25 assure le vannage. Mais la vitesse trop grande avec laquelle le régulateur doit diminuer la section d'arrivée d'eau, lorsque la charge devient plus faible, provoque dans la conduite forcée des surpressions dénommées *coups de béliet*, qui peuvent faire éclater la conduite. Pour assurer
30 un vannage rapide tout en évitant cet accident, on a imaginé l'appareil appelé *défecteur*, sur lequel le régulateur agit en premier. Le déflecteur a pour but de dévier

tout ou partie du jet et de permettre au régulateur d'agir très lentement sur l'aiguille.

Quoique d'un fonctionnement presque primitif, les roues Pelton accusent des rendements dépassant 85% même pour les très hautes chutes. A l'usine de Fully (Suisse) 5 fonctionne une roue Pelton de 30.000 chevaux sous 1.650 mètres de chute, ayant une vitesse de rotation de 500 tours par minute.

On construit également des turbines comportant plusieurs roues et plusieurs injecteurs par roue. C'est ainsi 10 qu'à l'usine de Saaheim (Norvège) est installée une turbine Pelton double, munie de deux injecteurs par roue, et donnant une puissance de 16.400 chevaux-vapeur sur l'arbre de la machine.

Bien que les roues Pelton tournent dans l'air, on les 15 enferme dans des bâches pour éviter le rejaillissement de l'eau dans les halls des usines. Pour que le liquide quittant un auget ne puisse tomber sur les suivants, on dispose dans la bâche des chicanes qui évacuent directement l'eau dans le canal de fuite de l'usine. 20

La régularisation de la vitesse d'un moteur quelconque s'obtient en général par l'emploi d'un tachymètre à force centrifuge dont le prototype est le pendule de Watt. Il est facile de construire un tachymètre suffisamment puissant en lui-même pour conduire les organes des machines 25 à vapeur, mais dans le cas des turbines, il faut user d'un artifice à cause de l'importance des efforts nécessités par la manœuvre des vannages. Le pendule, qui n'agit pas directement sur le vannage, met en action ou arrête un relais-moteur qui exécute la manœuvre. Généralement, 30 le servo-moteur qui sert de relais fonctionne à l'huile sous pression. On peut donc se représenter facilement le

fonctionnement d'un tel appareil. Le pendule agit sur la distribution d'huile dans un cylindre, et, suivant le côté du piston renfermé dans ce cylindre sur lequel l'huile est admise, le servo-moteur ouvre ou ferme le vannage.

- 5 Sur les neuf millions de chevaux disponibles en France (niveau moyen) deux millions seulement sont utilisés. Les grands projets ayant pour but l'aménagement du Rhône, l'électrification de nos réseaux ferrés, l'utilisation de la force des marées, donneront de plus en plus à la houille
10 blanche la place prépondérante qui lui est due en raison de la facilité d'entretien, de la souplesse et de l'économie réalisées dans les installations hydro-électriques. Ils permettront, en outre, de retarder l'épuisement des mines de charbon, qui, bien que lent, est cependant indiscuté.

La Science et la Vie, Paris

XVIII. Une Usine marémotrice

- 15 Les océans eux-mêmes vont bientôt être appelés à fournir leur part d'énergie et à suppléer, dans les pays qui en sont pauvres ou privés, au manque de charbon et de carburant qu'il faut demander à l'étranger.

Puisque l'utilisation industrielle de l'énergie des marées,
20 qui fut longtemps considérée comme une conception chimérique, semble devoir entrer, grâce aux récents progrès de la technique, dans le domaine des réalisations pratiques, il convenait à la France de ne pas négliger cette question des forces hydrauliques parmi lesquelles la « houille bleue »
25 peut tenir une importante place et de procéder méthodiquement à une expérimentation sur une matière aussi nouvelle, bien que ce ne soit pas d'aujourd'hui que l'on a

cherché à capter les forces de la mer. On trouve, en effet, dès le ^x^e siècle, des « moulins à marée ». Au ^{xviii}^e siècle, Belidor établit des bassins ouverts, de niveaux différents, permettant l'écoulement de l'eau qui actionnait des turbines de construction sommaire placées dans un barrage 5 formant chute.

Sans vouloir faire ici une étude complète sur la théorie des marées, nous rappellerons seulement qu'elles sont produites par les attractions lunaire et solaire, combinées avec la rotation de la Terre. Suivant les positions qu'oc- 10 cupent les deux astres, par rapport à la Terre, ces attractions se contrarient ou se complètent, l'attraction lunaire étant, toutefois, de beaucoup la plus forte. Quand le Soleil, la Lune et la Terre se trouvent placés sur un même axe, c'est-à-dire quand la Lune est en conjonction ou en 15 opposition, par conséquent aux époques de nouvelle lune ou de pleine lune, les efforts s'ajoutent et la marée est la somme des deux marées partielles, lunaire et solaire. Au contraire, au moment des quadratures, c'est-à-dire quand la Lune est aux quartiers, l'effet du Soleil contre- 20 balance celui de la Lune; la haute mer lunaire correspond à la basse mer solaire et la marée est, dans ce cas, produite par la différence des deux efforts, donc moins forte. La configuration et les anfractuosités des côtes, les îles qui les environnent, l'étendue des mers, exercent une grande 25 influence sur les marées qui subissent des retards équivalents aux passages de la Lune, soit de 50 minutes 30 secondes. A Saint-Malo, la marée totale atteint 12 mètres; à Cherbourg, elle ne dépasse pas 5 m. 60. Devant les falaises à pic, la mer ne semble pas s'éloigner; sur les plages 30 sablonneuses et plates, elle découvre à de grandes distances; dans la baie du Mont-Saint-Michel, par exemple,

elle s'éloigne à pres de deux lieues. C'est la force du courant produit par cette différence de niveaux que l'usine marémotrice de l'Aber-Vrac'h utilise.

L'Aber-Vrac'h constitue depuis longtemps, à l'entrée de la Manche, un des ports les plus importants parmi les ports de relâche du Finistère. Protégé par de nombreux rochers qui en rendent l'accès quelquefois difficile, il donne asile à des navires de haut bord, la profondeur d'eau n'étant pas inférieure à dix mètres, aux environs du chenal. Il est



RÉGION BRETONNE À QUI L'USINE MARÉ-
MOTRICE FOURNIT L'ÉLECTRICITÉ

navigable jusqu'à près de 4 kilomètres dans l'intérieur des terres, jusqu'au petit port de stationnement de Paluden, aux environs duquel l'usine a été construite. Très sinueux, bordé de coteaux élevés qui l'enserrent, l'Aber-Vrac'h se prolonge ainsi pendant 3 kilomètres encore jusqu'au point où il reçoit le ruisseau le Diouris, sur lequel un deuxième barrage a été établi pour l'usine hydraulique qui complète l'usine marémotrice.

L'usine marémotrice est constituée par un barrage de

142 mètres de longueur et trois groupes de turbines actionnant, sous le double effet du flot et du jusant, des alternateurs asynchrones logés à l'intérieur des caissons en béton armé formant le barrage. Celui-ci permet d'emmagasiner en amont un cube de un million et demi à quatre millions 5 de mètres cubes, suivant la hauteur des marées. Ce bassin à double effet fonctionne de la manière suivante: Lorsque la marée monte et dès que la dénivellation entre le niveau de la mer et celui du bassin atteint 70 centimètres, les turbines entrent en fonctionnement et travaillent à charge progressivement variable jusqu'au moment où la marée est étale. A ce moment, la différence de niveau s'annule entre l'extérieur et le bassin, puis se rétablit en sens inverse à marée descendante. Ainsi, deux fois par marée, soit pendant huit à dix heures de fonctionnement, les turbines qui sont disposées de façon à fonctionner dans le même sens, quel que soit le sens de l'écoulement de l'eau, fournissent une puissance variable à chaque instant et qui s'annule à chaque renversement du sens du courant. Les trois turbines installées fournissent chacune 20 une puissance variable de 75 à 1 200 chevaux sous deux ou trois régimes de vitesse. Les deux alternateurs accouplés aux turbines fournissent du courant à 1 500 volts.

Cette usine se complète par une autre d'eau douce, établie sur le ruisseau du Diouris, qui se jette dans l'estuaire de l'Aber-Vrac'h. Cette seconde usine a pour but 25 de régulariser l'énergie discontinue produite par la station marémotrice. Elle comporte un barrage de 35 mètres de hauteur qui permet d'emmagasiner une masse d'eau douce de 12 millions de mètres cubes, sous une chute variant de 30 8 à 29 mètres. Elle est munie de turbines de 3 000 à 4 000 chevaux au total, de deux alternateurs de 1 500 chevaux

environ chacun et de deux pompes de 1 500 chevaux chacune, aspirant l'eau au pied du barrage pour relever la réserve aux heures où la production du courant électrique est surabondante à l'usine d'aval. Le tout est conçu
5 de manière à compenser le plus possible les temps d'arrêt de la station marémotrice. L'ensemble de ces deux usines, fonctionnant en liaison très étroite, est susceptible de fournir une puissance pouvant atteindre jusqu'à 3 200 chevaux, la puissance minimum constante restant de 1 600
10 chevaux. La production annuelle est de 11 millions de kilowatts-heures, correspondant à une consommation annuelle de près de 16 500 tonnes de charbon.

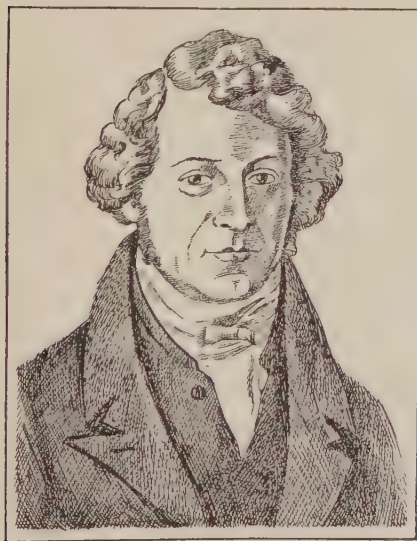
Les travaux de l'Aber-Vrac'h ouvrent donc la voie à une utilisation rationnelle et économique d'une source
15 d'énergie pour ainsi dire inépuisable et d'autant plus précieuse qu'elle permet de doter d'un nombre important de kilowatts une vaste région de la France qui, par sa position géographique, se trouve soustraite à l'influence des hautes chutes des Pyrénées, des Alpes et du Massif Central, et
20 qui s'est vue obligée de demander à l'étranger la houille qui lui est nécessaire.

La Science et la Vie, Paris

ÉLECTRICITÉ

XIX. André-Marie Ampère

Nous allons, d'abord, repérer rapidement dans leur ordre chronologique, les principales époques de la vie d'Ampère. Né à Poleymieux, près de Lyon, le 22 janvier 1775 et mort



A.-M. AMPÈRE

à Marseille le 10
juin 1836, Ampère 5
a vécu un peu plus
de 61 ans. Il
avait 14 ans
quand la Révolu-
tion éclata en 10
1789; il avait 18
ans quand son
père, juge de paix
à Lyon, fut mis à
mort par la Révo- 15
lution, en 1793,
parce qu'il avait
trop le sentiment
de la justice, trop
de pitié pour 20
l'innocence et qu'il
avait voulu mettre

un frein aux excès des partisans de la Révolution. Il avait 21 ans lorsqu'il fit la connaissance de Mlle Julie Carron, et 24 ans lorsqu'il l'épousa. A l'âge de 26 ans il 25

devint professeur de Chimie et de Physique à Bourg. Il avait 27 ans quand son mémoire sur la théorie mathématique du jeu fut publié. En 1804 sa femme mourut. Dans la même année, il devint professeur de Mathématiques au
5 Lycée de Lyon. Peu de temps après, il entra à l'École Polytechnique à Paris à la queue du corps d'enseignement des mathématiques; et en 1809 il y atteignit le plus haut poste, celui de professeur d'Analyse mathématique et de
10 Mécanique. En 1814, à l'âge de 39 ans, il devint membre de l'Institut. En 1819 il devint professeur de philosophie à la Faculté des Lettres. En 1820 il fit sa grande découverte et commençait les recherches qui devaient l'immortaliser. De 1820 à 1828, il publiait une série de mémoires et
d'articles et de traités sur ses recherches et théories
15 d'électrodynamique et sur divers autres sujets chimiques, physiques, mécaniques et mathématiques. En 1824, à 49 ans, il devint professeur de Physique générale et expérimentale au Collège de France.

L'étude détaillée de ces différentes époques de la vie
20 d'Ampère est pleine d'intérêt, ainsi que l'on peut voir par les réflexions et les commentaires d'Arago, de Littré, de Sainte-Beuve et du fils d'Ampère. On voit poindre de bonne heure cette faim de toutes les connaissances, cette soif de boire à toutes les sources intellectuelles, qui avaient
25 fait d'Ampère, encore petit garçon, un lecteur omnivore; on y voit le présage et la préparation de l'homme omniscient, du génie universel, du grand savant, du grand penseur, qu'il était destiné à devenir à son âge mûr.

Ce qui frappe dans la vie d'Ampère, c'est la diversité,
30 la généralité et la profondeur de ses connaissances, de ses aptitudes et de ses talents. On reconnaît en lui un génie capable de tout, parce qu'il est doué de toutes les qualités

dont l'esprit humain a besoin pour se frayer un passage à travers la vie et pour arriver au sommet de la distinction par n'importe quelle route que le hasard lui aurait montrée. On admire l'une après l'autre, chez Ampère, ces belles qualités: imagination, fécondité d'idées, perspicacité, application, énergie, ténacité, précision, justesse de jugement, sympathie, tendresse, bonté, simplicité, générosité et probité, en un mot toutes les forces du cerveau le plus instruit, jointes à celles du cœur le plus tendre et le plus affectueux.

Ampère, s'il n'avait pas suivi la route qui l'a conduit à l'immortalité comme physicien, comme philosophe, comme grand maître de l'enseignement supérieur, aurait pu se faire un grand nom comme historien, linguiste, philologue, lexicographe, critique, littérateur ou poète. Tout le monde est d'accord pour reconnaître que la grande œuvre d'Ampère est celle de la science fondée par lui sur ses expériences et ses recherches, science qu'il baptisa du nom d'*électrodynamique*, mais qui, maintenant, porte le plus souvent le nom d'*électromagnétisme*. C'est cette œuvre, immortelle par la permanence et la stabilité des principes utilisés par Ampère, qui a rendu son nom immortel et qui constitue un monument impérissable à sa mémoire. C'est cette œuvre, constituant un patrimoine mondial légué par Ampère à la science en perpétuité, qui lui a donné une célébrité mondiale.

Le mémoire d'Ørsted, *Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée*, est daté du 21 juillet 1820; dans une suite de mémoires lus à l'Académie des Sciences, dont le premier en date est du 18 septembre 1820, Ampère établit la distinction entre la tension électrique qui produit les attractions et répulsions électrostatiques et le courant électrique caractérisé par la décomposition de l'eau et

- l'action sur l'aiguille aimantée; il lie ces deux effets l'un à l'autre en grandeur, définit nettement le courant électrique et lui donne le nom qu'il porte. Il avait vu que l'expérience d'Ørsted était le témoignage de propriétés, jusqu'alors insoupçonnées, des fluides électriques en mouvement. L'idée du galvanomètre qu'il oppose à l'électromètre lui appartient. Point n'est besoin de rappeler la position de l'observateur d'Ampère dont tous nous faisons usage.
- 10 En même temps, il découvre les actions mécaniques réciproques des conducteurs parcourus par des courants électriques et il est plus que probable, bien qu'il ne le dise pas expressément, que c'est en discutant l'expérience d'Ørsted qu'il fut amené à penser que deux conducteurs
- 15 sur lesquels agit l'aiguille aimantée et qui agissent sur elle en vertu de la loi de l'action et de la réaction, doivent agir l'un sur l'autre. Arago l'indique dans son éloge académique d'Ampère et cette manière de raisonner convient bien au génie d'Ampère.
- 20 Comment dès lors trouver les lois de l'action des courants sur les courants, alors que celle-ci doit dépendre non seulement des intensités, mais encore des positions et des formes? Le calcul intégral suggéra de suite la voie à Ampère; il fallait déterminer en grandeur, direction et
- 25 sens, l'action de deux éléments de courant agissant l'un sur l'autre, autrement dit trouver la loi élémentaire.
- Ampère savait fort bien que la loi élémentaire à laquelle il arrivait n'était pas nécessaire et il l'indique dans les lignes suivantes:
- 30 « Ces trois hypothèses offrent, d'ailleurs, un exemple frappant de la possibilité où l'on est de remplacer un système de forces agissant sur un assemblage de points

matériels par un autre système de forces toutes différentes, mais dont l'ensemble produit absolument les mêmes effets d'équilibre et de mouvement sur cet assemblage solide. C'est ainsi que, quand un corps est plongé dans un liquide pesant, on peut, sans rien changer aux conditions d'équi- 5 libre ou de mouvement de ce corps, substituer au système de pressions que le fluide exerce sur sa surface un système de forces verticales appliquées de bas en haut à toutes les particules de ce corps, et dont chacune est représentée par le poids d'un volume du liquide égal au volume de la 10 particule du corps sur laquelle cette force est censée agir. »

L'assimilation à un feuillet magnétique d'un circuit parcouru par un courant constant est indiquée par Ampère, mais il faut surtout rappeler ses études sur les solénoïdes et son hypothèse, des plus hardies à l'époque, des courants 15 particuliers et de la constitution des aimants; il suppose ces courants préexistant à l'aimantation, celle-ci ne faisant que les orienter.

« C'est, dit-il, de cette expérience que j'ai conclu, dans le temps où je l'ai faite, que les courants électriques, dont 20 j'admettais déjà l'existence autour de chaque particule des aimants, existaient également autour de ces particules avant l'aimantation, dans le fer, le nickel et le cobalt, mais que s'y trouvant dirigés en tous sens, il n'en pouvait résulter aucune action au dehors ».

Et plus loin, étendant à tous les corps l'hypothèse des courants particuliers, il ajoute, « en sorte que la seule différence qui se trouve, à cet égard, entre les corps sus- 25 ceptibles d'aimantation et ceux qui ne le sont pas, consisterait dans la propriété qu'auraient les particules des premiers de laisser déplacer les courants électriques qui 30 circulent autour d'elles, tandis que dans les autres corps les

courants excités autour de chaque particule ne seraient pas susceptibles de changer de direction, ou ne le pourraient que par une force supérieure à celles qui ont été exercées jusqu'à présent sur ces courants ».

- 5 Ampère voyait dans les courants particuliers et leurs actions réciproques « la seule explication, exempte de difficultés, que l'on puisse donner dans l'état actuel de la physique, des phénomènes de la cristallisation ».

- Remplaçons le terme général « courant particulaire »
10 par l'expression particulière « orbite d'électron » et nous serons bien près des idées actuelles sur la constitution de la matière; on peut presque dire que celles-ci remontent à plus d'un siècle puisque les lignes qui précèdent sont extraites d'une lettre d'Ampère à un ami d'octobre 1821.
15 Il est bon, pour la gloire d'un grand Français, de montrer l'étendue et la puissance du génie d'Ampère qui, loin de se borner à l'étude mathématique de l'action de deux éléments de courant l'un sur l'autre, savait s'élever aux conceptions les plus hardies, jusqu'à proposer pour la constitution de
20 la matière une théorie dans laquelle le mouvement orbital des fluides électriques jouait un rôle capital.

- Faisant allusion à la fin d'Ampère, Sainte-Beuve dit:
« En reportant son regard, du haut de la montagne de la vie, vers ces sciences qu'il comprenait toutes, et dont il
25 avait agrandi l'une des plus belles, il put atteindre un moment au bonheur serein du sage et reconnaître en souriant ses domaines. »

- Mais s'il pouvait, pour un instant, sortir aujourd'hui de son tombeau et reconnaître à nouveau ses domaines, il
30 verrait partout de gigantesques alternateurs qui déversent l'énergie à torrents sur de vastes étendues; partout la lumière qui rivalise de subtilité avec l'aurore boréale; la

matière inerte animée, vivifiée par le mouvement, transfigurée par les réactions électrochimiques; partout la voix humaine franchissant les espaces à perte de vue; la pensée humaine transmise instantanément par toute la terre. 5
Devant tant de magnificence, il croirait les hommes réconciliés, son rêve réalisé, et son cœur déborderait de joie et d'allégresse.

Revue générale de l'Électricité, Paris

XX. Principes de Magnétisme et d'Induction

Spectres magnétiques. — Plaçons sur une table un verre à vitre; maintenons-le à quelques centimètres de la table par quatre bouchons, et introduisons entre la table 10 et le verre, tout près de celui-ci, un ou plusieurs aimants. Plaçons dans un tamis de la fine limaille de fer et saupoudrons le verre, en projetant la limaille d'un peu haut; puis frappons sur le verre de petits coups avec un corps dur, afin de donner aux grains de la mobilité. Ces grains ne se 15 placent pas n'importe comment, comme ils le feraient en l'absence des barreaux aimantés; ils se disposent en files régulières qui dessinent des courbes continues dont chaque extrémité aboutit à un pôle d'aimant. L'ensemble de ces lignes forme ce qu'on appelle un *spectre magnétique*. 20

Propriété importante des spectres magnétiques. — Une expérience fondamentale va nous permettre de comprendre la signification et l'importance des lignes de limaille d'un spectre magnétique. Aimantons une aiguille à coudre ordinaire et suspendons-la par son milieu à un fil de cocon. 25 Transportons-la tout près de la plaque de verre. En

quelque point qu'on l'amène, elle se place toujours tangentielle à la ligne de limaille sur laquelle se trouve son milieu. L'expérience réussit d'autant mieux que l'aiguille a des dimensions plus petites.

- 5 Ce résultat n'a rien de surprenant. Bien que les limailles ne soient pas au contact de l'aimant, elles sont encore sous son influence. Elles se transforment en de petits aimants, se conduisent donc comme de petites aiguilles aimantées; il est tout naturel, du moment qu'elles se mettent en files
10 régulières, qu'une petite aiguille aimantée s'oriente dans la direction même de ces files.

Les lignes de limaille d'un spectre magnétique présentent donc un intérêt capital: leur direction en chaque point indique la direction d'équilibre de l'aiguille aimantée
15 placée en ce point et libre de s'orienter dans le plan.

Champs magnétiques. — On dit qu'une tige de fer ou d'acier est dans un *champ de force magnétique*, ou plus simplement dans un *champ magnétique*, lorsque, suspendue par son centre de gravité pour éliminer l'action de la
20 pesanteur, elle ne se place pas n'importe comment: son équilibre n'est pas indifférent. L'expérience montre que dans tous les cas elle n'a qu'une seule position d'équilibre stable.

Ainsi nous savons qu'au voisinage de la Terre, ou d'un
25 aimant, une petite aiguille d'acier, suspendue comme il vient d'être dit, s'oriente dans une direction bien déterminée: le voisinage de la Terre, d'un aimant, est un champ magnétique.

Sur une plaque de verre placée horizontalement dans un
30 champ magnétique, saupoudrons de la limaille de fer. Les grains s'orientent (par définition même du champ) et dessinent un spectre magnétique. En dehors d'un champ

magnétique, les limailles ne s'orientent pas, se placent indifféremment dans toutes les directions: il ne se produit pas de spectre.

Pour reconnaître l'existence d'un champ magnétique en un lieu, on peut donc, à volonté, constater qu'on peut 5 produire un spectre, ou qu'une aiguille aimantée suspendue par son centre de gravité s'y oriente. Le procédé du spectre a un désavantage: les limailles n'obéissent au champ que s'il est assez *intense*. En revanche, il présente un grand avantage, dont nous allons parler. 10

Direction du champ; lignes de force. — On appelle *direction d'un champ magnétique* en un point la direction d'équilibre d'une aiguille aimantée très courte, suspendue librement en ce point par son centre de gravité.

Si l'aiguille est forcée de se déplacer dans un plan (comme 15 c'est le cas pour les grains de limaille, dans l'expérience du spectre magnétique), elle se met en équilibre dans la direction qui fait avec la précédente l'angle le plus petit possible: c'est la projection de la direction du champ sur ce plan. 20

On sait que dans un spectre magnétique toute ligne de limaille est tangente en chaque point à la direction d'équilibre d'une petite aiguille aimantée placée en ce point. D'après la définition précédente, les lignes de limaille sont donc tangentes en chaque point à la direction du champ 25 (ou plus exactement à la projection de cette direction sur le plan du spectre).

On donne à toute ligne (même non matériellement réalisée) ayant cette propriété le nom de *ligne de force*. 30

La formation du spectre magnétique présente donc l'avantage de matérialiser très simplement toutes les lignes

de force de son plan, c'est-à-dire de faire connaître à la fois les directions d'équilibre que prendrait une petite aiguille aimantée en tous les points de ce plan.

Nous pouvons énoncer dès maintenant deux résultats
 5 d'une grande importance pratique, obtenus par cette méthode: 1. en tout point du plan mené perpendiculairement au barreau par son milieu, la direction du champ est parallèle au barreau; 2. en tout point situé sur le prolongement de l'axe du barreau, la direction du champ est
 10 encore la même et se confond par conséquent avec l'axe du barreau.

Sens d'une ligne de force. — En un point A d'une ligne de force d'un spectre magnétique, plaçons une petite
 15 aiguille aimantée ab , libre de s'orienter dans le plan du spectre. Nous savons déjà qu'elle se met en équilibre stable dans une direction bien
 20 déterminée, qui est la direction de la ligne de force au point A (fig. 21). Son sens est également déterminé, c'est-à-dire que son pôle nord ne se place pas indifféremment en a ou en b . Dans le cas de la figure, le
 25 pôle nord vient en a , à l'extrémité la plus voisine du pôle sud du barreau NS , par suite de l'attraction entre pôles de noms contraires.



FIG. 21

De même qu'un courant électrique, une ligne de force magnétique n'a donc pas les mêmes propriétés dans les
 30 deux sens; il est par suite nécessaire de les distinguer l'un de l'autre. On convient d'appeler *sens d'une ligne de force* le sens qui va du pôle sud au pôle nord d'une petite aiguille

aimantée en équilibre stable sur cette ligne. Ce choix est, bien entendu, tout à fait arbitraire.

On peut donner de cette convention un autre énoncé. En regardant des spectres magnétiques nous voyons que les lignes de force joignent toujours deux pôles de noms 5 contraires; jamais nous n'en trouvons partant d'un pôle pour aboutir à un pôle de même nom. La ligne de force dont le sens est défini plus haut va du pôle nord au pôle sud du barreau qui produit le champ: on peut donc fixer encore le sens des lignes de force d'un champ créé par des 10 barreaux aimantés, en disant qu'elles partent d'un pôle nord pour aboutir à un pôle sud.

Action d'un champ magnétique uniforme sur une aiguille aimantée. — Tout champ peut être considéré comme uniforme dans un espace suffisamment petit. Ainsi, une 15 aiguille aimantée placée dans un champ quelconque peut être supposée dans un champ uniforme, si elle est assez courte.

Il est particulièrement commode d'expérimenter dans le champ magnétique terrestre, qui présente l'avantage 20 d'être uniforme dans toute l'étendue d'un laboratoire. L'expérience faite dans ces conditions prouve qu'un champ uniforme exerce sur un barreau aimanté une action purement directrice; il n'exerce aucune action d'entraînement. Le barreau tend seulement à tourner autour de son centre 25 de gravité; ce centre ne tend pas à se déplacer.

On peut le vérifier par les expériences suivantes:

Une aiguille aimantée placée sur un disque de liège aussi petit que possible (pour diminuer les frottements) et flottant sur l'eau, s'oriente, mais son centre de gravité ne 30 se déplace pas. Donc si, outre l'action directrice qui fait tourner l'aiguille, il existe une force, elle ne peut être que

verticale, car, si elle était horizontale ou oblique, elle ferait glisser l'appareil à la surface de l'eau.

Il reste à démontrer qu'il n'existe pas de force verticale. Or, une telle force modifierait le poids du barreau, et l'on
 5 vérifie aisément avec une balance que le poids d'une aiguille d'acier ne subit ni augmentation ni diminution lorsqu'on l'aimante.

On peut se représenter l'action directrice comme due à deux forces F égales et parallèles agissant en sens opposés
 10 sur deux points bien déterminés N et S situés quelque part vers les extrémités du barreau (fig. 22). Ces points jouent, pour les magnétismes nord et sud, le même rôle que le centre de
 15 gravité pour les corps pesants; on peut leur donner les noms de pôle nord et pôle sud. Les forces F sont dirigées
 20 dans la direction du

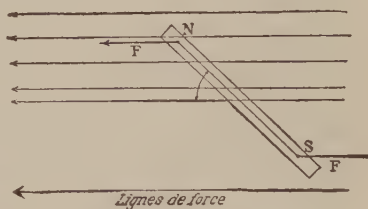


FIG. 22

champ; celle qui est appliquée au pôle nord N a le sens même du champ; l'autre a le sens contraire.

L'action directrice exercée par le champ sur le barreau a sa valeur maxima lorsque le barreau est perpendiculaire à
 25 sa position d'équilibre; elle diminue quand le barreau se rapproche de sa position d'équilibre, et s'annule quand il y arrive. Dans ce dernier cas, les deux forces F , étant égales et opposées, ne produisent plus aucun effet d'orientation.

30 *Un courant électrique crée un champ magnétique.* — Suspendons par son centre de gravité une aiguille aimantée; elle prend une position d'équilibre sous l'action du champ

magnétique terrestre. Disposons près de cette aiguille un fil métallique contourné d'une façon quelconque; si le fil n'est pas en fer ou en acier, la position d'équilibre de l'aiguille ne change pas.

Faisons passer dans le fil un courant électrique; en 5
général l'aiguille aimantée prend une position d'équilibre différente de la première.

Le courant crée donc un champ magnétique. Étudions par la méthode du spectre les propriétés générales d'un tel champ. La coexistence du champ terrestre complique 10
la question. La formation du spectre magnétique fait connaître le champ qui résulte du courant et de la Terre, et non celui du courant seul. Heureusement les effets du champ terrestre sont négligeables quand le courant a une intensité suffisante. Nous supposons qu'il en est ainsi 15
dans les expériences qui vont être décrites.

Propriétés générales du champ d'un courant. — Produisons avec de la limaille de fer le spectre magnétique du champ du courant; il nous donne la forme des lignes de force. Faisons varier l'intensité du courant; nous n'obser- 20
vons aucune modification dans la direction des lignes du spectre. Quand l'intensité du courant augmente, les lignes de limaille deviennent seulement plus nettes.

La direction du champ d'un courant en un point quelconque est donc indépendante de l'intensité de ce 25
courant.

Renversons le sens du courant; nous n'observons aucune modification du spectre: la *direction* des lignes de force se maintient invariable. Mais il n'en est pas de même de leur *sens*: une petite aiguille aimantée placée en un point 30
quelconque du spectre se retourne bout pour bout au moment où l'on change le sens du courant.

Le sens des lignes de force du champ d'un courant dépend donc du sens du courant.

Ces propriétés sont absolument générales, indépendantes de la forme du circuit. Nous allons maintenant indiquer la forme du spectre dans plusieurs cas particuliers importants.

Champ d'un long circuit rectiligne. — Soit AB un fil rectiligne vertical (fig. 23), long de 2 mètres environ, relié par ses extrémités aux bornes d'un électromoteur. Étudions le champ au voisinage du milieu C du fil, loin des parties du circuit qui ne sont pas rectilignes. Pour cela disposons horizontalement en C un plan P de verre ou de carton percé d'un petit trou par où passe le fil. Faisons

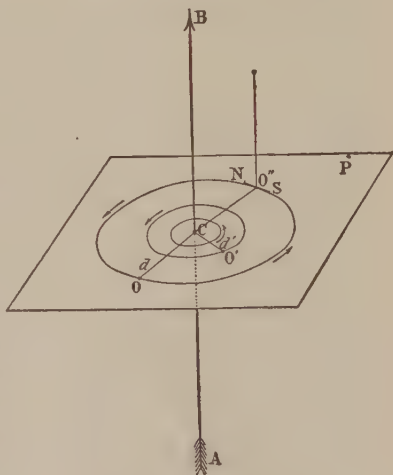


FIG. 23

passer un courant de 10 à 20 ampères, et saupoudrons de limaille comme il a été dit plus haut.

Le spectre magnétique est formé de lignes circulaires ayant le point C comme centre.

Le sens des lignes de force s'obtient comme d'habitude à l'aide d'une petite aiguille aimantée NS suspendue par son milieu à un fil de cocon. L'aiguille se dispose tangentielllement à une ligne de force, et le sens SN est le sens

du champ. On trouve qu'il est donné par une règle dite *règle d'Ampère*:

Un observateur placé sur le fil AB et traversé par le courant des pieds à la tête, voit les lignes de force aller vers sa gauche.

5

Il revient au même de dire que la petite aiguille aimantée forme une croix avec le courant, de manière que son pôle nord soit à la gauche du bonhomme d'Ampère.

Ce résultat n'est obtenu qu'avec des courants assez intenses pour que le champ terrestre ne produise aucun effet appréciable.

Lorsque le courant est plus faible, les actions du champ terrestre et du champ du courant sont du même ordre de grandeur. Si les deux champs n'ont pas la même direction à l'endroit où se trouve l'aiguille, celle-ci ne se met pas en croix avec le courant; sa tendance à s'y mettre est contrariée par le champ terrestre. L'action du courant modifie cependant la position initiale d'équilibre dans le champ terrestre: l'expérience prend alors le nom d'Ærsted, qui a découvert de cette manière la production d'un champ magnétique par un courant.

Solénoïde. — Enroulons régulièrement un grand nombre de tours de fil isolé sur un cylindre, et retirons ensuite celui-ci. Il est commode d'enrouler d'abord du papier sur le cylindre; on enroule ensuite le fil et on le colle. On laisse sécher, puis on retire la longue bobine cylindrique appelée *solénoïde*.

Faisons passer un courant dans le solénoïde. Il produit un champ magnétique; il est facile d'obtenir son spectre. On entaille un carton de manière qu'une partie pénètre à l'intérieur de la bobine, comme l'indique la figure 24. Avant d'installer le carton, on le recouvre d'une mince couche

30

uniforme de limaille; on fait passer le courant et on frappe de petits coups sur le carton. On supprime alors le courant et on retire le carton portant le spectre magnétique.

Le spectre est
5 formé de courbes
traversant l'intérieur
du solénoïde et se
fermant à l'extérieur
(fig. 25). Toutes les
10 lignes sont sensible-
ment droites et
parallèles à l'intérieur
du solénoïde; elles
s'écartent seulement

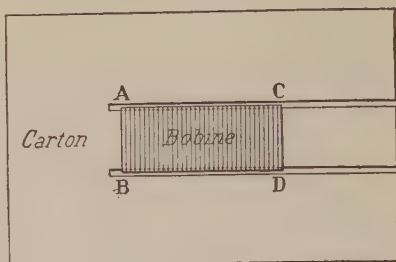


FIG. 24

15 vers les extrémités. On réalise ainsi commodément un
champ uniforme; il l'est d'autant plus parfaitement au
centre de la
bobine qu'elle a
une longueur
20 plus grande par
rapport à sa
grosseur.

Le sens du
champ est donné
25 par la règle
d'Ampère: un
observateur
couché sur le fil

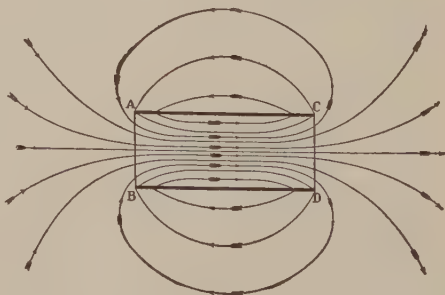


FIG. 25

où passe le courant et traversé des pieds à la tête par ce
30 courant, voit les lignes de force aller vers sa gauche, qu'il
regarde à l'intérieur ou à l'extérieur du circuit.

La forme du champ à l'extérieur de la bobine présente

une analogie frappante avec celle d'un barreau aimanté rectiligne. Cette identité des deux champs a pour conséquence une identité des actions extérieures d'un solénoïde et d'un barreau aimanté.

En particulier, les extrémités d'un solénoïde traversé par un courant, présentées à celle d'un aimant suspendu, produisent des répulsions et des attractions comme si le solénoïde était un aimant. Les extrémités d'un solénoïde exercent des attractions et des répulsions sur celles d'un autre solénoïde. Un solénoïde suspendu s'oriente dans le champ magnétique terrestre comme le ferait un barreau aimanté rectiligne. 5 10

Il résulte de la règle d'Ampère que le pôle nord est celui devant lequel il faut se placer pour voir le courant tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre. 15

Toutes ces propriétés cessent d'exister dès qu'on supprime le courant.

Aimantation d'un barreau de fer ou d'acier dans un champ magnétique. — Nous savons déjà qu'un barreau de fer ou d'acier placé au voisinage d'un aimant devient lui-même un aimant. Cette propriété est générale et appartient à tous les champs magnétiques, qu'ils soient produits par des aimants ou par des courants. 20

Introduisons, par exemple, un barreau de fer ou d'acier dans un solénoïde et faisons passer le courant. Le barreau se trouve dans un champ magnétique; il s'aimante. 25

Ce phénomène de l'aimantation est très complexe. Considérons seulement le cas relativement simple d'un barreau rectiligne, de longueur très grande par rapport à sa grosseur, placé parallèlement aux lignes de force dans un champ magnétique uniforme (fig. 26). Le barreau s'aimante de manière que la droite qui joint ses pôles soit 30

parallèle aux lignes de force; l'extrémité par laquelle entrent les lignes de force devient un pôle sud, celle par laquelle elles sortent devient un pôle nord.

On observe un phénomène analogue dans un champ

5 magnétique non uniforme, quand les dimensions du filament de fer ou d'acier sont assez petites pour que la région qu'il occupe
10 puisse être considérée

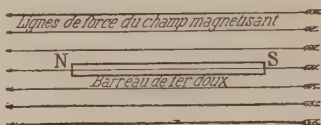


FIG. 26

comme un champ uniforme. C'est le cas d'un grain de limaille dans un champ magnétique quelconque; il s'aimante et prend la même direction et le même sens qu'une petite aiguille *préalablement aimantée* suspendue au
15 même point. Ainsi s'explique la propriété fondamentale des spectres magnétiques.

Magnétisme rémanent; force coercitive. — Aimantons un barreau de fer ou d'acier en le plaçant dans un champ magnétique, puis supprimons le champ magnétisant : le
20 barreau reste aimanté; on dit qu'il y a *magnétisme rémanent*.

Pour supprimer ce magnétisme, il faut placer le barreau dans un champ magnétique de sens contraire au premier et ayant une intensité convenable. L'intensité de ce champ
25 mesure ce qu'on appelle la *force coercitive*.

Le magnétisme rémanent et la force coercitive ont des valeurs très différentes, suivant qu'il s'agit d'un barreau de fer doux ou d'un barreau d'acier.

Pour le fer doux, le magnétisme rémanent est considé-
30 rable, mais la force coercitive très petite. Quand le champ magnétisant s'annule, le fer doux reste notablement aimanté, mais un très faible champ de sens contraire le

désaimante complètement. C'est pour cette raison qu'on ne peut pas fabriquer d'aimants permanents en fer doux.

Au contraire, l'acier, et surtout l'acier trempé, reste relativement peu aimanté lorsqu'on supprime le champ magnétisant, mais pour supprimer cette aimantation il faut un champ inverse notable. Ainsi s'explique la possibilité d'avoir des aimants permanents.

Électroaimants. — Soit un barreau de fer doux AB (fig. 27) entouré d'un solénoïde dans lequel nous faisons passer un courant. 10

Le barreau s'aimante dans le sens même du champ du solénoïde. C'est-à-dire qu'en 15

suivant l'axe du solénoïde dans le

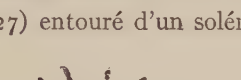


FIG. 27

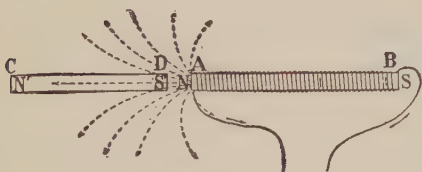


FIG. 27

sens des lignes de force, on traverse le barreau du pôle sud au pôle nord.

Ce barreau aimanté produit lui-même dans son voisinage un champ magnétique dont la figure 27 représente quelques lignes de force. Plaçons un second barreau de fer CD dans ce champ. L'expérience montre que les lignes de force se déforment de manière à venir passer en grand nombre dans CD . Corrélativement celui-ci s'aimante dans le sens du champ: il se fait un pôle sud S' à l'extrémité la plus voisine du pôle nord de AB , et les deux barreaux s'attirent. L'ensemble du solénoïde et du barreau AB s'appelle un *électroaimant*; le barreau CD est l'*armature* de l'électroaimant.

Tout électroaimant, quelle que soit sa forme, attire son armature lorsqu'un courant passe dans le solénoïde. La

figure 28 représente un électroaimant en fer à cheval. Les lignes de force qu'il émet traversent l'armature CD , formant un pôle sud S' là où elles entrent (près du pôle nord N de l'électroaimant d'où elles sortent), et un pôle nord N' là où elles sortent (au voisinage du pôle sud S de l'électroaimant).

Supprimons maintenant le courant du solénoïde; les pôles N et S actuellement existants produisent *dans le barreau* un champ magnétique de sens contraire au champ que produirait le solénoïde:

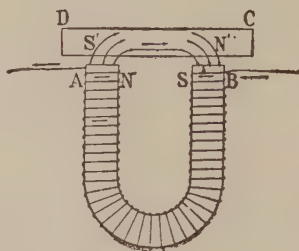


FIG. 28

le barreau AB perd son aimantation, d'autant plus facilement qu'il est plus court; l'armature n'est plus attirée.

L'électroaimant est donc un aimant temporaire, qu'on peut créer par la simple fermeture d'un circuit contenant un électromoteur, et qu'on peut supprimer en interrompant le courant.

On conçoit le grand nombre d'applications auxquelles se prête un tel appareil. Le circuit électrique peut être aussi long qu'on veut; l'électro attire son armature quand le courant passe; un ressort convenablement placé la ramène en arrière quand le courant est supprimé. On peut ainsi, d'un endroit situé à une distance quelconque de l'électro, produire les mouvements de l'armature par le simple jeu d'un interrupteur de courant.

Déplacement d'une bobine par rapport à un aimant ou un solénoïde. — Soit une bobine $ABCD$ formée d'un petit nombre de spires et dont les extrémités sont reliées à un

galvanomètre (fig. 29). Le circuit ne contient pas d'électromoteur; l'aiguille du galvanomètre n'est pas déviée.

Approchons suivant OO un barreau aimanté; la déviation de l'aiguille du galvanomètre montre la production

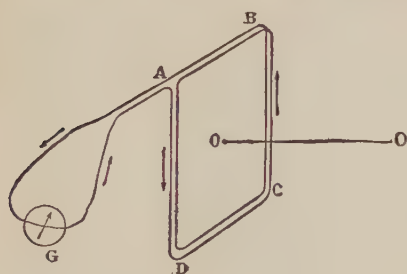


FIG. 29

d'un courant induit 5
dans la bobine
 $ABCD$. Quand le
pôle le plus rap-
proché de la bobine
est un pôle nord, le 10
courant a le sens des
flèches.

L'explication est
immédiate. Quand
on approche de la 15

bobine un pôle nord, le nombre des lignes de force passant à travers elle, augmente. Donc le bonhomme d'Ampère doit être placé sur le circuit de manière qu'il les voie aller vers sa *droite*: c'est dire que le courant induit a le sens des flèches. 20

Il existe un courant induit de sens contraire quand on éloigne le barreau.

Les résultats sont inverses quand le pôle sud du barreau est le plus proche de la bobine.

Les phénomènes dépendent seulement du mouvement 25
relatif. Le résultat est le même, que le champ magnétique
ou la bobine se déplace.

Dans tous les cas, la f.é.m. d'induction est proportion-
nelle à la variation, par unité de temps, du nombre des
lignes de force traversant la bobine. 30

*Courants dus aux variations du champ, sans déplacement
du circuit.* — Reprenons l'expérience du paragraphe précé-

dent avec le solénoïde. Il est possible de créer dans la bobine des courants induits, sans produire aucun déplacement: il suffit de modifier l'intensité du courant du solénoïde (dit *courant inducteur*).

- 5 Quand on augmente l'intensité du courant inducteur, le courant induit a le même sens que si l'on approchait le solénoïde; diminuer le courant inducteur, revient à éloigner le solénoïde. En d'autres termes, quand on augmente l'intensité du champ dans lequel se trouve la bobine, tout se
10 passe comme si l'on augmentait le nombre des lignes de force qui la traversent; une diminution de l'intensité du champ revient à une diminution du nombre des lignes de force.

Règle générale concernant l'induction dans une bobine. —

- En définitive, quel que soit le procédé par lequel on fait
15 varier le nombre des lignes de force qui traversent un circuit, que ce soit par un déplacement d'aimants ou de solénoïdes, que ce soit par une variation d'intensité d'un courant, la règle suivante s'applique:

- Quand on fait varier par un procédé quelconque le nombre des lignes de force qui traversent un circuit fermé, il
20 devient le siège d'un courant d'induction.

Si le nombre des lignes de force augmente, le courant induit traverse des pieds à la tête un bonhomme placé sur le circuit et qui voit les lignes de force aller vers sa droite.

- 25 Si le nombre des lignes de force diminue, le courant induit traverse des pieds à la tête un bonhomme placé dans le circuit et qui voit les lignes de force aller vers sa gauche.

La f.é.m. d'induction est proportionnelle à la vitesse de variation du nombre des lignes de force.

- 30 La quantité d'électricité induite est proportionnelle à la variation totale du nombre des lignes de force.

H. BOUASSE: *Physique*, Librairie Ch. Delagrave, Paris

XXI. Moteur et Générateur électriques

Principe du moteur Gramme. — Sur une couronne de fer $ABCD$ recouverte d'un isolant (fig. 30), enroulons régulièrement une couche de fil non isolé, de manière que les spires ne se touchent pas et que les deux extrémités du fil soient réunies. Le fil constitue ainsi un circuit fermé. 5

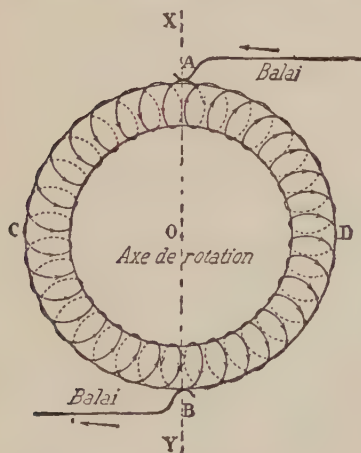


FIG. 30

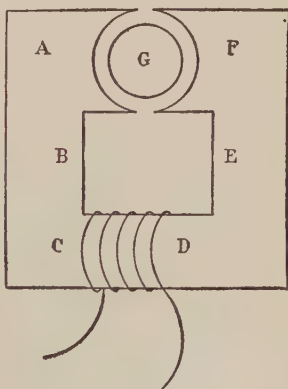


FIG. 31

Cet anneau peut tourner autour de l'axe O perpendiculaire au plan de la figure. Pendant la rotation de l'anneau, deux ressorts métalliques A et B , appelés *balais*, frottent sur les spires aux extrémités du diamètre vertical XY . Ils servent à faire passer le courant d'un électro- 10 moteur dans le fil qui recouvre la couronne.

Les flèches indiquent le sens de ce courant; il arrive en A et se partage en deux parties, l'une qui suit la moitié de

gauche de l'anneau, l'autre qui suit la moitié de droite; elles se réunissent en B et retournent à l'électromoteur.

Plaçons l'appareil précédent en G dans le champ magnétique intense qui existe entre les pôles F et A d'un gros électroaimant $ABCDEF$ (fig. 31). En l'absence de l'anneau G , le champ entre les pôles F et A de l'électroaimant, serait à peu près uniforme, c'est-à-dire que les lignes de force seraient sensiblement des droites parallèles. Mais la présence de l'anneau de fer modifie le champ; les lignes de force se courbent de manière à passer en grand nombre dans le fer. Dès que le courant passe dans le fil qui recouvre l'anneau, celui-ci tourne dans le sens de la flèche (fig. 32).

Pour expliquer ce mouvement, nous pouvons considérer chacune des spires comme un circuit plan circulaire fermé; la différence est minime car les spires, très rapprochées, sont presque rigoureusement circulaires. Ces différents courants circulaires ont, dans les deux moitiés de l'anneau, les sens indiqués par la figure 32 (comparer à la fig. 30).

Rappelons les règles qui donnent le sens du déplacement d'un courant sous l'action d'un champ magnétique.

Le bonhomme d'Ampère est traversé par le courant des pieds à la tête. Il regarde l'intérieur du circuit. S'il voit les lignes de force aller vers sa gauche, le circuit se déplace de manière que leur nombre augmente. S'il voit les lignes de force aller vers sa droite, le circuit se déplace de manière que leur nombre diminue.

La première condition (lignes de force allant vers la gauche) est réalisée dans les spires des deux quadrants DA et CB (fig. 32). Elles tendent à se déplacer dans un sens tel que le nombre des lignes de force qui les traversent devienne aussi grand que possible. C'est en A et B qu'il

en est ainsi. Elles tendent donc à se mouvoir, les unes de D vers A , les autres de C vers B .

Au contraire, les spires des deux autres quadrants sont traversées par des lignes de force allant vers la droite du bonhomme. Elles tendent à se diriger vers les régions où 5 elles sont traversées par le plus petit nombre de lignes.

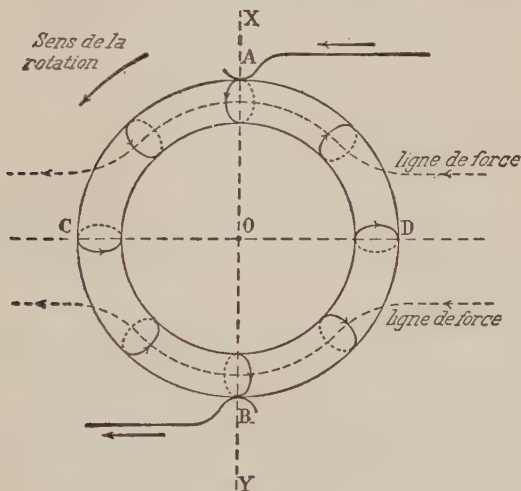


FIG. 32

Cette condition est réalisée en C et en D . Donc les spires des quadrants AC et BD tendent à se déplacer, les premières de A vers C , les secondes de B vers D .

En définitive, les actions du champ sur toutes les spires 10 sont concordantes et tendent à faire tourner l'anneau dans le sens de la flèche (fig. 32). Ce que nous venons de dire pour une position de l'anneau peut se répéter pour toutes; l'anneau prend donc un mouvement de rotation qui peut

continuer indéfiniment; il ne tend pas vers une position d'équilibre.

Principe du générateur Gramme. — Dans l'installation précédente, supprimons l'électromoteur qui produisait le
5 courant, et réunissons les deux balais par un fil métallique à travers un ampèremètre. Si nous faisons tourner l'anneau *en sens contraire de la flèche* (fig. 32), l'ampèremètre est traversé par un courant *de même sens que celui que fournissait l'électromoteur*.

10 L'explication se déduit immédiatement des résultats du paragraphe précédent et de l'énoncé général des lois de l'induction.

1. Quand on fait tourner toutes les spires autour de l'axe *O*, elles sont traversées par des lignes de force dont
15 le nombre varie; elles deviennent donc le siège de f.é.m. d'induction.

2. D'après la loi de Lenz, les courants induits tendent à s'opposer au mouvement qui les fait naître, c'est-à-dire à donner aux spires un mouvement de rotation de sens con-
20 traire à celui qu'elles ont.

Les courants induits ont donc un sens tel que l'action du champ sur eux tende à faire tourner chacune des spires *dans le sens de la flèche*. Par suite, d'après la théorie du moteur Gramme, les courants induits sont dirigés suivant
25 les flèches.

Les f.é.m. induites dans les spires de la moitié gauche de l'anneau s'ajoutent et tendent à produire un courant allant de *A* vers *B*. Celles de la moitié droite s'ajoutent et tendent à créer un courant allant aussi de *A* vers *B*. Si
30 l'on réunit les balais par un circuit métallique, les deux courants vont dans le fil extérieur de *B* vers *A*, résultat conforme à celui de l'expérience.

Le courant fourni par le générateur Gramme est continu et dure le même temps que la rotation de l'anneau, puisque, toutes les parties de l'anneau étant identiques, ce que nous avons dit pour une position est vrai pour les autres.

Les f.é.m. d'induction dans toutes les spires, et par suite la f.é.m. totale sont proportionnelles à la vitesse de rotation de l'anneau comme nous l'avons établi. L'expérience montre aussi que la f.é.m. totale est proportionnelle au nombre N des spires, à la surface S de chacune d'elles et à l'intensité H du champ en A et en B .

Détails de construction de la machine Gramme.

(a) *Collecteur*. — L'appareil, construit comme nous l'avons

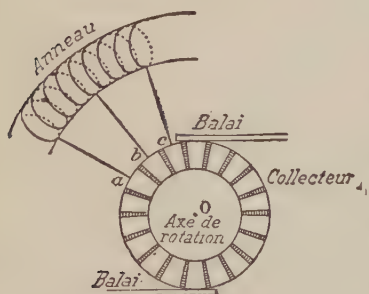


FIG. 33

indiqué, ne fonctionnerait pas longtemps sans se détériorer, par suite de l'usure résultant du frottement des balais sur le fil des spires. Les balais s'appuient en réalité sur une pièce d'importance capitale appelée collecteur, centrée sur l'axe même de l'anneau, mais de dia-

mètre beaucoup plus petit (fig. 33). C'est un cylindre suivant les génératrices duquel sont disposées des lames de cuivre $a, b, c, \dots$ séparées les unes des autres par des lames isolantes, d'ébonite par exemple.

Imaginons d'abord qu'il y ait autant de lames métalliques sur le collecteur que de spires sur l'anneau, et que chacune des spires soit reliée métalliquement à l'une des lames de cuivre. L'ensemble des spires forme toujours un

circuit fermé ininterrompu. Lorsqu'une lame de cuivre du collecteur vient au contact d'un balai, c'est exactement comme si celui-ci touchait la spire correspondante. Tout se passe donc comme nous l'avons supposé dans la théorie, 5 mais on n'a plus à redouter le frottement des balais sur les spires. En outre, il devient possible de ne plus employer du fil nu pour les spires, ce qui permet de les serrer davantage, d'en superposer plusieurs couches et d'en faire tenir un plus grand nombre sur l'anneau; d'où un accroissement 10 de la f.é.m. de la machine.

La construction du collecteur serait impossible s'il possédait autant de lames de cuivre qu'il y a de spires. On tourne la difficulté en ne mettant une lame de cuivre que pour un groupe de plusieurs spires consécutives formant 15 une bobine plate (fig. 33). C'est, par exemple, de 10 en 10 spires que se fait la communication de l'anneau avec le collecteur. La théorie reste la même.

(b) *Anneau*. — Dans la théorie précédente, nous n'avons pas tenu compte de la rotation de la masse de fer de l'anneau; 20 ce déplacement ne change pas, en effet, la région de l'espace où se trouve du fer, ni par suite la forme du champ. Mais le mouvement de cette masse dans un champ magnétique y fait naître des courants de Foucault; l'énergie nécessaire à la production de ces courants est perdue. Elle devient 25 même nuisible, car elle se transforme en chaleur qui chauffe progressivement l'anneau et peut le porter à une température dangereuse pour la gaine isolante des spires.

On supprime les courants de Foucault en formant l'anneau, non d'une seule pièce, mais avec des couronnes 30 en tôle de fer isolées les unes des autres, empilées perpendiculairement à l'axe de l'anneau. Les courants de Foucault sont, en effet, dans une partie de leur trajet,

parallèles à l'axe de rotation; il leur est impossible d'exister quand le noyau est feuilleté comme on l'a dit, puisqu'ils ne peuvent passer d'une lame sur l'autre.

(c) *Entrefer*. — L'expérience montre que pour obtenir un champ très intense, il faut réduire autant que possible l'entrefer; l'anneau remplit presque complètement la cavité comprise entre les pièces polaires de l'électro; entre la surface interne de ces pièces polaires et la surface extérieure des spires, on ne laisse qu'un intervalle de l'ordre du millimètre.

Application de la machine Gramme au transport de l'énergie. — Grâce à ses deux modes de fonctionnement (comme générateur et comme moteur), la machine Gramme se prête à une application d'une grande importance industrielle: le transport de l'énergie à distance.

Voici un exemple qui fera saisir l'intérêt de la question. On dispose d'une chute d'eau; c'est une source d'énergie mécanique, bien souvent incommode à utiliser sur place. Pour transporter cette énergie à distance, on procède de la manière suivante. La chute d'eau fait tourner une première machine Gramme, qui fonctionne comme générateur; le courant produit est envoyé par une ligne conductrice au point où l'énergie mécanique doit être utilisée; là se trouve une seconde machine Gramme qui reçoit le courant de la première, fonctionne comme moteur, et restitue une partie de l'énergie mécanique fournie par la chute d'eau.

BOUASSE ET BRIZARD: *Physique*, Librairie Ch. Delagrave, Paris

XXII. Quelques Précisions sur les Accumulateurs électriques

En tant que réservoirs d'énergie, les accumulateurs sont utilisés, soit comme régulateurs d'une installation, soit pour lancer électriquement les moteurs à explosion, soit pour l'éclairage régulier des voitures de chemin de fer.

- 5 D'une façon générale, on peut définir un accumulateur comme une pile dans laquelle, après la décharge, les matériaux sont ramenés à l'état primitif par la charge, celle-ci étant obtenue en faisant passer dans l'appareil un courant électrique en sens inverse du courant de décharge.
- 10 C'est Planté qui a découvert, en 1859, la combinaison voltaïque qui est la base de presque tous les accumulateurs actuellement employés. Si l'on prend un vase isolant dans lequel on a versé un mélange d'eau et d'acide sulfurique (un dixième d'acide pour neuf dixièmes d'eau) et que l'on
- 15 y plonge deux lames de plomb maintenues par des pinces en laiton, on constitue un élément prêt à être chargé. Le plomb doit être mat, c'est-à-dire que le contact de l'air a formé à sa surface une légère couche d'oxyde de plomb. Plaçons cet élément dans un circuit de charge, à courant
- 20 continu, bien entendu. L'eau acidulée contenue dans le vase est décomposée par le courant, en hydrogène et oxygène. Le premier de ces gaz suit le courant et va à la *cathode* (pôle -), le second à l'*anode* (pôle +). Mais ils ne se dégagent pas et réagissent sur les électrodes en don-
- 25 nant, avec l'oxyde qui recouvre celles-ci : à l'anode, du peroxyde de plomb, à la cathode, du plomb et de l'eau. Le plomb ainsi formé à l'électrode négative se présente sous un aspect particulier, sous forme de plomb spongieux.

A partir d'un certain moment, les couches de peroxyde de plomb et de plomb ne se forment plus, les gaz provenant de la décomposition de l'eau acidulée (électrolyte) se dégagent, l'élément est chargé. L'accumulateur est alors capable de restituer sous la même forme l'énergie électrique qu'il a emmagasinée en énergie chimique. Il suffit de réunir les électrodes par un conducteur pour qu'un courant se produise, en sens inverse du courant de charge. Puis, l'intensité faiblit et tombe à zéro: l'accumulateur est déchargé. Pendant cette décharge, des réactions, inverses des précédentes, se produisent et ramènent les électrodes à leur état primitif.

Cependant, cette explication simple du fonctionnement d'un accumulateur n'est pas suffisante au point de vue chimique et on a dû faire intervenir d'autres considérations, peu compliquées d'ailleurs. Cette théorie, faite en 1880, et due à Gladstone, est la théorie de la double sulfatation. Supposons l'accumulateur chargé. Pendant la décharge, l'acide sulfurique SO^4H^2 contenu dans l'eau est électrolysé, en SO^4 et H^2 , par le courant qui va à l'intérieur du vase de la cathode (-), recouverte de plomb spongieux à l'anode (+), recouverte de peroxyde de plomb. H^2 se rend à l'anode où, en raison de la présence d'acide, le peroxyde de plomb est transformé en sulfate de plomb. SO^4 va à la cathode et transforme le plomb spongieux en sulfate de plomb (SO^4Pb). Naturellement, ces transformations ne sont jamais complètes et, en réalité, on obtient: à l'anode, un mélange de sulfate et de peroxyde de plomb, à la cathode, un mélange de sulfate de plomb et de plomb spongieux. En outre, pendant la décharge, il se forme de l'eau, en même temps qu'une certaine quantité d'acide se combine et que l'acidité de l'électrolyte

diminue. Rechargeons maintenant l'accumulateur. Le courant de charge va, *dans l'électrolyte*, de l'anode (+) à la cathode (-). L'acide est encore décomposé en SO_4 et H^2 . Le premier élément va à l'anode où il décompose l'eau
5 et reforme de l'acide et de l'oxygène. L'oxygène avec le sulfate de plomb et l'eau reproduit le peroxyde de plomb. A la cathode, l'hydrogène réduit le sulfate de plomb et il se forme du plomb spongieux. Les termes extrêmes de la réaction sont donc les mêmes que ceux indiqués dans la
10 première théorie.

Cette double sulfatation est très nuisible aux accumulateurs. Elle se produit surtout quand on laisse au repos pendant un certain temps un élément déchargé. Les plaques deviennent plus claires (le sulfate de plomb est
15 blanc), puis il se forme de petites taches blanches et la matière active se transforme entièrement en sulfate, qui est un mauvais conducteur de courant. Il peut arriver qu'on ne peut plus remettre en service un accumulateur que l'on a trop laissé se sulfater. Aussi la concentration
20 de l'électrolyte a-t-elle une grande influence sur la sulfatation. Elle influe d'ailleurs aussi sur le voltage de l'élément chargé.

La tension qui existe entre les deux bornes d'un accumulateur chargé est voisine de deux volts. Il est intéressant
25 de connaître comment varie cette force électromotrice, pendant la charge et pendant la décharge. La courbe (fig. 34) représente les variations de cette tension pendant la charge à intensité constante. Chaque allure différente de la courbe correspond à des phénomènes chimiques dans
30 le détail desquels il est inutile d'insister. La partie la plus importante est constituée par le palier *P* pendant lequel l'acidité de l'électrolyte augmente. Le point le plus élevé

correspond à une force électromotrice voisine de 2,5 volts; c'est la fin de la charge. Pendant la décharge, à intensité constante, les phénomènes inverses se produisent. La tension décroît brusquement jusqu'à 2 volts, puis elle reste constante et décroît lentement. L'accumulateur est 5

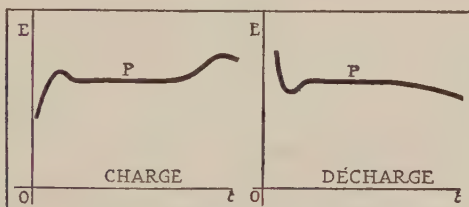


FIG. 34. — VARIATION DE LA TENSION EN FONCTION DU TEMPS PENDANT LA CHARGE ET LA DÉCHARGE D'UN ÉLÉMENT

La partie utile des deux courbes est constituée par le palier *P* qui correspond à une tension de deux volts. Lorsque celle-ci atteint 1,8 volt, l'accumulateur est pratiquement déchargé.

pratiquement déchargé lorsque le voltage atteint environ 1,8 volt.

Il est dangereux de faire débiter davantage l'élément qui se détériorerait avec une grande rapidité.

La caractéristique importante d'un accumulateur est 10 constituée par la quantité d'électricité qu'il peut débiter pendant la durée d'une décharge poussée jusqu'à la limite pratique, c'est-à-dire par sa *capacité*. Celle-ci varie avec 15 le régime de décharge, elle croît si ce régime est plus lent, elle croît avec la concentration de l'électrolyte, elle croît avec la température; enfin, pour un poids égal des plaques formant les électrodes, elle augmente lorsque leur épais-

seur diminue, c'est-à-dire quand leur surface est plus grande.

On peut donc, dès maintenant, comprendre en quoi consiste la fabrication d'un accumulateur: vases, plaques, électrolyte. Les vases ou bacs doivent posséder une résistance mécanique suffisante, être inattaquables par l'acide sulfurique dans les conditions de fonctionnement normal. On les construit actuellement en plomb, en verre, en ébonite ou en celluloid. Les premiers sont employés pour les grandes batteries à poste fixe dites stationnaires, pour lesquelles l'encombrement et le poids n'ont pas une importance capitale. Ils sont généralement constitués par une caisse en bois doublée intérieurement de plomb soudé à la soudure autogène. Les bacs en verre présentent l'avantage de permettre de voir l'intérieur de l'accumulateur, de le surveiller plus facilement, notamment de se rendre compte si un corps étranger, pouvant produire un court-circuit, n'est pas tombé au fond. Malheureusement, ils sont fragiles, le verre résistant mal aux variations de température. Les bacs en ébonite ou caoutchouc durci sont très employés actuellement. Cette matière n'est pas attaquée par l'acide sulfurique. Il est possible, comme nous le verrons plus loin, de fermer l'accumulateur pour le rendre transportable. Le celluloid est surtout utilisé pour les petits éléments. Il possède la propriété précieuse de pouvoir se souder à lui-même au moyen d'acétone. Il sera donc employé dans toutes les applications ne demandant pas un très haut voltage.

L'électrolyte est composée d'eau et d'acide sulfurique. La concentration, dont l'importance est capitale, varie avec les fabricants.

La partie la plus importante et la plus intéressante de

l'accumulateur est constituée par les électrodes ou plaques; de la fabrication de celles-ci, de leur formation et de leur composition dépendent les qualités des éléments et, par suite, des batteries.

Dans le type Planté, la matière active est obtenue aux dépens du support; elle est réalisée, comme nous l'avons vu, par une légère couche d'oxyde de plomb: c'est ce que l'on nommera électrodes à grande surface. Elles sont simplement obtenues par coulée et sont constituées par du plomb pur. Pour augmenter leur résistance mécanique, on fait venir de fonte des nervures longitudinales dans le sens vertical.

Actuellement, on utilise surtout des plaques à oxydes rapportés dans lesquelles la matière active est maintenue par un support en plomb qui sert à répartir le courant dans toute la masse. Ces plaques présentent l'avantage de nécessiter une formation moins longue que celle du type Planté, et, grâce à la bonne disposition du support en plomb, elles présentent une grande solidité. Ce support est constitué par une grille de plomb dont les barreaux sont disposés de manière à ce que la matière active (oxyde de plomb rapporté) ne puisse s'échapper dans le bac.

Avant d'entreprendre la description détaillée de la fabrication et du montage des accumulateurs, il nous faut dire quelques mots de l'installation d'une usine moderne. Une centrale électrique permet de ne pas être à la merci d'une panne de réseau et fournit l'énergie électrique pour l'éclairage, la force motrice et les opérations électrochimiques. Une batterie-tampon assure la constance de la tension de distribution. Les chaudières servent également à alimenter les installations de chauffage central prévues pour les différentes parties de l'usine.

Les matières premières sont reçues dans de vastes magasins où elles sont vérifiées et méthodiquement classées suivant leur destination. Lorsqu'une commande est reçue, toutes les matières nécessaires à son exécution
5 sont prises dans les différents magasins contenant les pièces prêtes et sont groupées sous le numéro d'ordre de cette commande. Ainsi, aucune perte de temps ne peut résulter d'un défaut d'approvisionnement.

La fabrication des électrodes, la plus importante des
10 opérations, a lieu dans un bâtiment spécial où les grilles sont fondues, garnies de matière active, et où les plaques sont formées.

Le plomb fondu est coulé dans des moules. L'intérieur des moules est tamponné pour éviter que le plomb n'adhère
15 aux parois. Les grilles doivent être légères et robustes. Ce résultat est obtenu par l'étude de leur forme et aussi par le choix des matières premières. C'est pourquoi un laboratoire doit être adjoint à la fabrication pour s'assurer de la qualité des lingots à la réception. Les barreaux
20 des grilles sont disposés de telle manière que la matière active se trouve en quelque sorte emprisonnée et dans l'impossibilité de se détacher sous l'action des chocs.

Les grilles refroidies sont ensuite garnies de matière
25 active dans un atelier voisin. La composition exacte de ces oxydes rapportés reste le secret du fabricant, mais c'est le minium (oxyde de plomb) qui forme la base de la pâte. L'ouvrier reçoit les grilles et se dispose à les *empâter*. A cet effet, il place une grille devant lui et, au moyen d'un
30 rouleau, il fait pénétrer la pâte dans tous les interstices des barreaux. Les plaques garnies sont maintenant prêtes à subir l'opération de la *formation*. Grâce à la pâte

spéciale employée au garnissage des plaques des batteries destinées au démarrage des moteurs à explosions, on a pu produire des appareils dont la capacité, sous le même poids et le même volume, aux régimes intenses de démarrage, est près de trois fois plus grande que celle des éléments 5 ordinaires employés pour l'éclairage.

La formation des plaques est une opération délicate qui doit être conduite avec beaucoup de soins et lentement. Dans le procédé Planté (plaques en plomb sans oxydes rapportés) on procède à la charge, puis à la décharge une 10 dizaine de fois. On recommence encore dix fois en inversant les connexions. Ce n'est qu'au bout d'une centaine de charges que la capacité ne varie plus. C'est pour diminuer la longueur de cette formation que l'on utilise les plaques à oxydes rapportés. Le traitement électro- 15 chimique, qui varie d'ailleurs pour les plaques positives et les plaques négatives, se fait en plongeant les plaques dans des bains spéciaux et en les maintenant sous tension pendant un temps considérable.

Les plaques formées sont transportées à l'atelier de montage. Pour augmenter la capacité d'un élément sans 20 lui donner un volume encombrant, au lieu de prendre de grandes plaques positives et négatives, on réunit ensemble un certain nombre de plaques positives et la même quantité plus une de plaques négatives. Cette opération se fait 25 facilement à la soudure autogène grâce à de petits prolongements prévus sur les grilles, d'une part, et à des barrettes fabriquées dans l'atelier de fonderie et portant autant de logements qu'il y a d'ergots à placer. On obtient ainsi des faisceaux positifs et négatifs que l'on 30 emboîte les uns dans les autres de façon à intercaler les plaques positives et négatives. L'isolement des plaques

est assuré par des séparateurs en ébonite perforée. On obtient ainsi par soudure un bloc de faisceaux.

Les blocs sont ensuite logés dans des bacs, généralement en ébonite lorsqu'il s'agit d'accumulateurs de démarrage, et que l'on remplit d'une solution d'acide sulfurique de concentration convenable.

Dans ce cas, on assure l'étanchéité de l'appareil en coulant un compound de fermeture qui établit une liaison parfaite entre le bac et son couvercle. Un bouchon de ventilation vissé sur le couvercle assure l'évacuation des gaz tout en empêchant les projections d'acide. On sait qu'un accumulateur ne peut être conservé chargé que s'il est rempli d'eau acidulée. Cette particularité présente un gros inconvénient pour le transport car il est interdit par les compagnies de chemin de fer de faire circuler des acides sans précautions spéciales. On est réduit à remplir les bacs d'eau distillée pour mettre les plaques à l'abri de l'air et éviter leur détérioration rapide. D'autre part, pour conserver en magasin des accumulateurs chargés, il faut vérifier souvent le niveau de l'électrolyte et procéder à des recharges périodiques pour éviter la sulfatation. Il est vrai que l'on peut expédier des accumulateurs secs et déchargés, mais ceci implique à l'arrivée une recharge dans des conditions un peu particulières et toujours longue (environ trente heures). On a remédié actuellement à ce gros inconvénient et, grâce à un procédé tout à fait spécial, on peut livrer, en n'importe quel point du monde, des accumulateurs complètement chargés et secs. A l'arrivée, il suffit de remplir la batterie avec l'électrolyte, pour qu'en quelques minutes, elle soit prête à fonctionner.

Une batterie d'accumulateurs est constituée par un certain nombre d'éléments réunis en série, car la tension

de deux volts existant entre les bornes d'un élément est, en effet, très éloignée des tensions industrielles. Les batteries-tampons (stationnaires) sont simplement placées dans une chambre spéciale de la centrale à laquelle elles doivent être affectées. Lorsqu'il s'agit de l'éclairage, il faut que la tension reste sensiblement constante. Or, nous avons vu que celle-ci reste longtemps voisine de deux volts pour chaque élément, puis elle baisse lentement jusqu'à la limite pratique de 1,7 volt. Il faut donc prévoir un dispositif de réglage à l'aide d'un rhéostat ou au moyen d'éléments supplémentaires, dits éléments de réduction, que l'on insère successivement dans le circuit pour compenser la chute de tension. C'est généralement à cette deuxième solution que l'on a recours pour éviter la perte d'énergie dans le rhéostat et, par suite, la diminution du rendement de l'installation. Leur nombre est facile à calculer, puisqu'il est égal à la moitié du nombre de volts qu'il faut ajouter, à la fin de la décharge de la batterie principale, pour obtenir la tension primitive du réseau de distribution.

Les batteries transportables, de 6 à 12 volts, comprenant par conséquent 3 ou 6 éléments reliés en série, sont logées dans des caisses de bois. Le bois doit être très sec pour qu'il se conserve bien, et, d'autre part, il doit être recouvert d'une peinture inattaquable par l'acide sulfurique de l'électrolyte. Après vérification de sa capacité, la batterie est prête à être utilisée. Actuellement les accumulateurs sont très employés pour la télégraphie et la téléphonie sans fil.

Il nous reste à dire quelques mots de l'entretien des accumulateurs. Il faut veiller au bon serrage des bornes, à leur propreté, au niveau de l'électrolyte et à sa teneur exacte en acide. Le niveau du liquide doit toujours dé-

passer les plaques de quelques millimètres. Si le niveau descend trop bas, il suffit d'ajouter de l'eau distillée en quantité suffisante. La vérification de l'acidité de l'électrolyte se fait au moyen d'un aréomètre. Ce petit appareil
5 très pratique facilite beaucoup cette opération.

Après avoir débouché l'élément, on plonge l'extrémité de cette pipette dans l'électrolyte en pressant sur la poire en caoutchouc. En relâchant cette boule, le liquide monte dans le corps de la pipette et le petit aréomètre qu'elle
10 contient flotte dans l'électrolyte. Il suffit de lire directement le degré d'acidité de la solution qui doit être de 28° Baumé. Si l'acidité est trop faible, on ajoute une solution d'acide plus concentrée. Il est bon à ce sujet de rappeler qu'on ne doit jamais verser de l'eau dans de l'acide sul-
15 furique. La grande chaleur dégagée par sa dissolution serait la cause de projections d'acide qui occasionneraient des brûlures. Si l'acidité est trop forte, on remplace une partie de l'électrolyte par de l'eau distillée.

La Science et la Vie, Paris

XXIII. La Carrière et les Travaux du Général Ferrié

Sorti de Polytechnique en 1889 à l'âge de 21 ans, le
20 général Ferrié qui a fait toute sa carrière dans l'Arme du Génie se spécialisa dans la télégraphie et créa la radio-télégraphie française à dater de l'année 1898.

C'est en 1898 et 1899 que Marconi faisait ses premiers essais de T. S. F. entre la France et l'Angleterre. Le capi-
25 taine Ferrié assistait à ces expériences. Le Ministre de la

Guerre auquel il en rendait compte, lui demanda si ce nouveau moyen de transmission ne pourrait pas être développé en France et adapté notamment à des fins militaires. La réponse fut affirmative et ainsi se trouva



LE GÉNÉRAL FERRIÉ

tracée, il y a 25 ans environ, la voie que le jeune officier 5
ne devait plus quitter et qui l'amena à devenir le créateur
et l'animateur de la Radiotélégraphie Française.

Cette période de vingt-cinq ans peut se décomposer en
3 stades bien nets. Avant la guerre, le capitaine puis
commandant Ferrié se livra d'abord à des études théori- 10
ques et expérimentales approfondies pour créer ensuite

tout un matériel adapté aux diverses nécessités auxquelles ce matériel devait répondre.

Pendant la guerre, le colonel Ferrié, sans rien abandonner de ses propres recherches, dirigea avec toute l'expérience et toute l'autorité technique que lui valaient un
5 passé déjà long et des réalisations personnelles importantes, les travaux d'une pléiade de savants que la mobilisation lui avait permis de rassembler autour de lui.

Depuis la guerre, le général Ferrié, dont l'autorité
10 technique et la notoriété sont devenues mondiales, représente la France dans tous les comités radiotélégraphiques internationaux; il a la haute main sur toutes les questions de transmissions militaires, il continue en même temps d'intéressants travaux personnels et dirige comme avant
15 l'armistice les travaux de nombreux radiotélégraphistes qui viennent chercher auprès de lui des directives et des conseils techniques.

De 1898 à 1914, le capitaine puis commandant Ferrié qui pendant les premières années tout au moins était à
20 peu près le seul en France à s'occuper de la technique nouvelle, mit méthodiquement au point toute une série de postes tant récepteurs qu'émetteurs et d'une importance toujours croissante. C'est en 1900 la création du détecteur électrolytique qui permettait des réceptions à l'oreille
25 bien plus pratiques et plus sûres que la réception au Morse employée jusque là et qui utilisait le cohéreur de Branly. Puis c'est la mise au point des postes émetteurs marchant sur courant alternatif et dont l'un des premiers fut installé pour débiter sur une antenne attachée au sommet de la
30 Tour Eiffel (1903).

Des postes émetteurs de toute nature furent ensuite étudiés; postes de navire qui permirent dès 1908 des

portées de 2 000 km. considérables pour l'époque, postes coloniaux, destinés aux réseaux locaux de nos grandes colonies, poste puissant de la Tour Eiffel installé en souterrain vers 1909 et que les navires recevaient dans un rayon de 3 000 km. au moins.

5

C'est ce poste qui envoya pour la première fois dans le monde les signaux horaires bien connus que déclanche le pendule même de l'Observatoire et qui permettent aux navigateurs et à tous ceux qui ont besoin d'une heure exacte, de régler leur chronomètre à un dixième de seconde 10 près.

Plus tard la Tour Eiffel émit des signaux dits scientifiques qui permirent de comparer l'heure locale astronomiquement déterminée d'un poste récepteur quelconque à l'heure du méridien Greenwich avec une précision de 15 l'ordre du centième de seconde. De tels signaux, que d'autres postes plus puissants devaient plus tard envoyer à leur tour, rendirent les plus précieux services aux géodèses et aux explorateurs envoyés pour délimiter de nouvelles positions ou lever la carte de régions inconnues. 20 Cette application de la T. S. F. au problème de l'heure qui a pris depuis une importance mondiale, a été réalisée en France pour la première fois sur l'initiative du commandant Ferrié. Dans les dernières années qui précédèrent la guerre, le capitaine Ferrié mit sur pied toute une 25 série de postes que l'on fut très heureux d'avoir au début de la guerre: poste à étincelle sur auto, poste de dirigeable, poste d'avion.

Deux fois lauréat de l'Institut pendant cette période de quinze années qui précède la guerre (Prix Kastner 30 Boursault en 1904, Prix Wilde en 1912), le commandant Ferrié avait été nommé membre du Comité d'Électricité

au Ministère des Travaux Publics. Il était membre correspondant du Bureau des Longitudes depuis 1911 et avait représenté en 1912 la France au Congrès International d'Électricité de St-Louis (États-Unis) et à la
5 Conférence Internationale de Londres.

Il avait fondé en 1911, d'accord avec M. Janet, Directeur de l'École Supérieure d'Électricité, une École Supérieure de Radiotélégraphie où il professait le cours de T. S. F. pratique. Ce cours d'une durée de trois mois à
10 l'origine et qui ne comportait comme élèves que des officiers de l'Armée de terre ou de l'Armée de mer, devait être interrompu par la guerre et repris en 1919. Il dure à présent huit mois et a de très nombreux élèves, notamment des officiers et fonctionnaires étrangers de toutes
15 nationalités et des ingénieurs civils français. Cette École, dont le général Ferrié a toujours la direction technique, est un puissant instrument de propagande pour la science française à l'étranger en même temps qu'elle forme les ingénieurs radiotélégraphistes dont ont besoin l'Armée,
20 la Marine et l'Industrie.

Pendant la guerre le rôle du colonel Ferrié a été d'une importance extrême. Il avait été nommé Directeur Technique de la Radiotélégraphie Militaire et c'est à ses judicieuses directives, fruits d'une longue expérience technique
25 et de ses nombreux travaux personnels, que l'on doit la réalisation de tous les appareils qui répondirent de façon si parfaite aux desiderata des Armées. Si les Armées furent si remarquablement dotées en matériel de T. S. F., si nos alliés sans exception nous demandèrent ce matériel et si
30 nos ennemis le copièrent, c'est à lui qu'on le doit et à la pléiade de savants qu'il sut grouper autour de lui, diriger et faire travailler en parfaite harmonie.

Cette période de cinq ans est caractérisée d'une part par la mise au point des lampes à trois électrodes et des appareils que ces lampes permirent de réaliser, et de l'autre par la création et la mise en service de postes émetteurs de plus en plus puissants et tous munis d'appareils émettant des ondes entretenues. 5

La mise au point des lampes triodes a eu pour conséquence la mise en service de toute une série d'appareils qu'il suffit de nommer pour se rendre compte des progrès accomplis: amplificateurs de tous modèles, récepteurs à 10 lampes, de types divers et notamment récepteurs à bord d'avion, émetteurs à lampes de petite et de moyenne puissances pouvant être installés partout et émettre indifféremment en télégraphie ou en téléphonie; appareils destinés à permettre la télégraphie par le sol et la radio- 15 goniométrie à un seul cadre mobile.

Pendant cette même période et toujours sous l'impulsion directe du colonel Ferrié, des postes puissants furent créés et munis soit d'émission par arc, soit d'alternateurs à haute fréquence dont un modèle venait d'être mis au 20 point par une société privée.

Au poste de la Tour qui mettait 70 kilowatts dans son antenne et dont l'émission à étincelles fut doublée par une émission à arc, vinrent s'ajouter le poste de Lyon d'une puissance de 200 kilowatts dans l'antenne et à la 25 fin de la guerre le poste de Croix d'Hins dont la puissance dans l'antenne atteignait 500 kilowatts et qui fut construit en collaboration avec la Marine Américaine. Lyon était entendu à Shanghai et Tananarive. Croix d'Hins, qui jusqu'à la mise en service de Ste-Assise devait rester 30 le poste le plus puissant du monde, était entendu en tous les points de la terre.

En même temps on réalisa le réseau Sud-Algérien qui réunit l'Algérie au Soudan et l'on reprit cette fois pour le réaliser, le projet d'un réseau intercolonial reliant la France à ses principales colonies. Les postes de l'A. O. F. 5 (Bamako), de l'A. E. F. (Brazzaville), de Madagascar (Tananarive) et de l'Indo-Chine (Saïgon) furent mis en commande dès 1918 et ont été achevés sous la direction technique du général Ferrié.

De cette même période datent encore les premiers 10 travaux de télé mécanique que le Directeur Technique de la Radiotélégraphie mit en route et suivit toujours de très près. Ils permirent de diriger un avion par des émissions de T. S. F. faites à plusieurs kilomètres de distance et qui avaient pour effet de commander à distance 15 par l'intermédiaire de relais actionnés à l'aide d'un courant récepteur convenablement amplifié les dispositifs mécaniques agissant sur la marche de l'avion.

Depuis la guerre le général Ferrié, tout en continuant des études personnelles ou en les dirigeant de très près 20 (création d'amplificateurs nouveaux, étude des ondes courtes, mise au point de lampes émettrices puissantes et de dispositifs de téléphonie sans fil, étude du champ hertzien, etc.), a cherché à maintenir la cohésion entre les radiotélégraphistes de haute valeur que la paix a renvoyés à 25 leur laboratoire. Il a proposé la création d'un Laboratoire National de T. S. F. commun à tous les Ministères que la radiotélégraphie intéresse. Il a été nommé Président de l'Union Internationale de Radiotélégraphie Scientifique dont l'une des principales raisons d'être est l'organisation 30 d'une expérimentation et de recherches internationales notamment sur la propagation des ondes. Enfin, rôle de première importance, le général Ferrié représente la France

dans toutes les commissions internationales qui se sont réunies jusqu'ici et vont se réunir encore pour jeter les bases d'une réglementation du trafic mondial dont la nécessité devient de jour en jour plus impérieuse.

Dans ces commissions l'universelle notoriété et la grande 5 autorité technique que le général Ferrié s'est justement acquises lui permettent de défendre au mieux l'intérêt de notre pays.

En même temps le rôle militaire du Général est devenu très important et aucune des multiples questions que 10 soulève le difficile problème des transmissions d'une armée, ne se traite en dehors de lui.

Théoricien, expérimentateur, réalisateur direct de postes et d'appareils pendant la première partie de sa carrière, le général Ferrié a dirigé ensuite et surtout à partir de 15 1914 les multiples recherches et les importantes installations que la guerre nécessitait. Depuis l'armistice sa valeur technique, universellement reconnue, lui a donné une autorité à peu près unique dans le monde et dont notre pays profite lorsqu'il le représente dans les com- 20 missions internationales. Mais la complexité et l'importance des questions qui lui sont soumises ne l'ont jamais détourné des travaux de laboratoire et durant toute sa carrière déjà longue il n'a jamais cessé de poursuivre des recherches personnelles et des réalisations pratiques. 25

Legénéral Ferrié, qui est entré à l'Académie des Sciences en 1922, a été en 1921 lauréat de la Société de Géographie et de la Société d'encouragement à l'industrie nationale. Cette même année il a obtenu le prix Osiris. Il est Com- 30 mandeur de la Légion d'Honneur et titulaire d'une vingtaine d'ordres étrangers. La médaille américaine pour services distingués lui a été donnée par les États-Unis et

l'Institut Franklin de Philadelphie lui a décerné la médaille Franklin. Il a été également nommé Docteur *honoris causa* de l'Université d'Oxford.

XXIV. La T. S. F.

On sait que le fonctionnement du téléphone ordinaire
5 est basé sur les modulations d'un courant continu par la voix agissant sur un microphone, modulations qui sont transmises intégralement par la ligne à l'écouteur téléphonique.

La radiotéléphonie utilise les mêmes phénomènes, à
10 l'exception du transport par ligne. Celle-ci est remplacée par les ondes électromagnétiques qui, en se propageant à travers l'éther, transportent avec elles les vibrations caractéristiques de la voix.

Ces ondes prennent naissance chaque fois qu'une
15 antenne est parcourue par un courant à haute fréquence, et elles se propagent dans l'espace à la vitesse de la lumière, soit 300.000 kilomètres à la seconde.

Pour émettre des signaux de télégraphie sans fil, il suffit d'interrompre et de rétablir, avec un manipulateur,
20 le courant électrique de haute fréquence circulant dans l'antenne en suivant la cadence des points et des traits constituant les lettres de l'alphabet Morse (fig. 35).

Pour déceler le passage dans l'antenne réceptrice des courants de haute fréquence qui y prennent naissance, le
25 procédé le plus employé consiste à faire agir ces courants sur un récepteur téléphonique du modèle utilisé pour la téléphonie avec fil, en intercalant dans le circuit qui

contient ce récepteur l'appareil dont le rôle est bien connu actuellement et nommé *détecteur*.

Cette condition étant remplie, on entendra une série de bruits cadencés, brefs ou longs, représentant les lettres ou les chiffres du Morse; la télégraphie sans fil est dès 5
lors complètement réalisée.

Pour faire de la radiotéléphonie, il faut laisser le manipu-

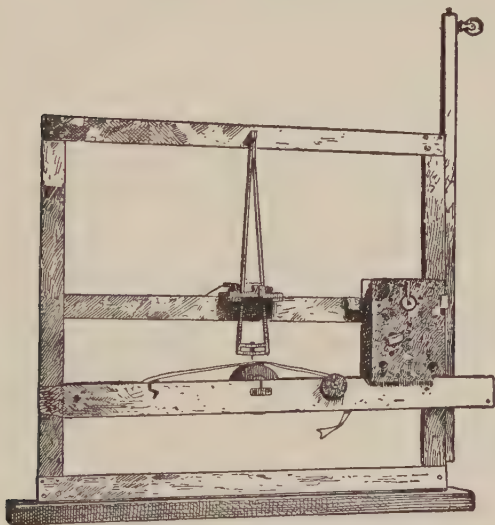


FIG. 35. — LE PREMIER APPAREIL
TÉLÉGRAPHIQUE DE MORSE

lateur fermé et émettre d'une façon ininterrompue des ondes électromagnétiques allant vers l'antenne du poste récepteur. Cette émission d'ondes remplace la ligne 10
métallique qui relie les deux correspondants dans le cas ordinaire de la téléphonie avec fil.

Tandis que, dans cette dernière, on *module* un courant continu par l'action du microphone, en radiotéléphonie ce sont les

ondes électro-
magnétiques,
seul lien entre
les deux corres-
pondants, qui
seront *modu-
lées* par la voix.

Pour obtenir
ce résultat, il
suffit de faire
agir le courant
modulé du
circuit micro-
phonique sur
la source de
courants de
haute fré-
quence qui
alimente l'an-
tenne émet-
trice.

La figure 36
représente les
vibrations so-
nores corres-
pondant à une

fraction de mot. Ce même tracé peut représenter égale-
ment les vibrations de courant microphonique exactement
en concordance avec les premières.

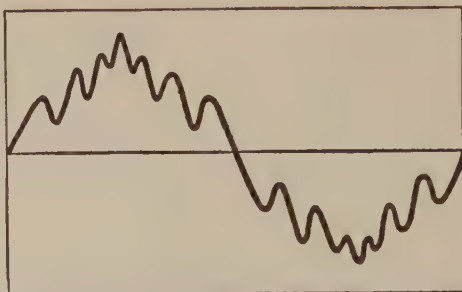


FIG. 36. — VIBRATIONS SONORES CORRESPONDANT À UNE FRACTION DE MOT PARLÉ

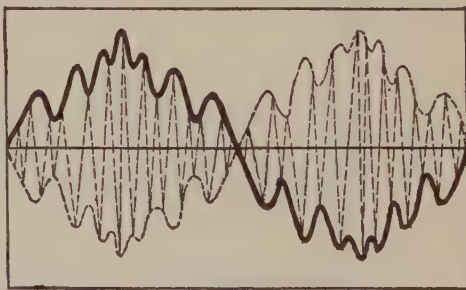


FIG. 37. — ONDES ENTRETENUES MODULÉES PAR L'ACTION DES VIBRATIONS SONORES

Les ondes électromagnétiques servent au transport des vibrations sonores. Elles sont modulées par elles comme le courant continu employé en téléphonie ordinaire est modulé par la voix.

Enfin, la figure 37 représente les modifications que subissent les ondes régulières quand on fait agir les vibrations vocales sur la source de haute fréquence par l'intermédiaire du microphone, et montre clairement le mécanisme de la superposition des vibrations sonores aux ondes électromagnétiques. 5

Les ondes rayonnées par l'antenne du poste émetteur, modulées par l'action du microphone, portent donc l'empreinte des vibrations sonores et la conservent pendant tout leur parcours à travers l'éther. Lorsqu'elles frappent 10 l'antenne réceptrice, elles font naître des courants de haute fréquence qui parviennent au récepteur téléphonique après avoir été redressés par le détecteur, mais ces courants de haute fréquence ne sont plus de grandeur constante, comme dans le cas des signaux de télégraphie sans fil. 15 Les ondes modulées sont, en effet, comparables à une série de vagues de hauteurs inégales; les unes sont hautes, les autres sont plus basses; en venant frapper l'antenne réceptrice, elles produisent des effets proportionnels à leur hauteur. 20

On s'explique dès lors pourquoi les courants engendrés dans l'antenne portent, eux aussi, l'empreinte des vibrations sonores. Ces courants, comme dans le cas de la téléphonie avec fil, produiront, en passant dans les petites bobines de l'aimant de l'écouteur téléphonique, des attractions 25 plus ou moins fortes de la membrane vibrante qui reproduira finalement le mot prononcé dans le microphone du poste émetteur. Dans le cas de la radiotéléphonie, il n'y a plus à craindre les effets de distorsion des courants téléphoniques qui se manifestent souvent au cours de la 30 transmission par fil. L'éther transmet fidèlement, sans les altérer, toutes les modulations de la voix; ceci explique

la grande netteté d'une réception radiotéléphonique obtenue avec des appareils bien étudiés; on peut presque toujours discerner le timbre de la voix, qui est très souvent déformé par la téléphonie avec fil.

- 5 Mais la radiotéléphonie exige que les ondes qui servent de véhicule aux vibrations sonores soient parfaitement régulières et parfaitement pures. On conçoit, en effet, que toute irrégularité préexistant dans les ondes, indépendamment de la modulation microphonique, produise
10 sur l'antenne réceptrice un effet parasite qui brouille la réception des vibrations sonores et dénature les sons émis.

- Cette condition exclut, par conséquent, les ondes amorties rayonnées par les postes à étincelles et exige l'emploi
15 des ondes entretenues engendrées par un arc électrique, un alternateur à haute fréquence ou une lampe à trois électrodes (fig. 38).

- Malgré la portée de 1.200 kilomètres obtenue en 1912 par le professeur Vanni, au cours d'essais entre Rome et
20 Tripoli, on doit considérer que l'arc n'a pas réalisé les espoirs qu'on avait fondés sur lui comme générateur d'ondes pour la radiotéléphonie.

- La mise en pratique, peu de mois avant la guerre, des nombreux modèles de lampes à trois électrodes, devait faire
25 accomplir en quelques années des progrès considérables à la radiotéléphonie.

- Pour utiliser les oscillations qui prennent naissance dans une lampe génératrice il suffit de les faire passer dans l'antenne émettrice en accouplant par induction cette
30 dernière à la lampe (au moyen d'un transformateur statique).

Les premiers postes émetteurs à lampes datent de 1913.

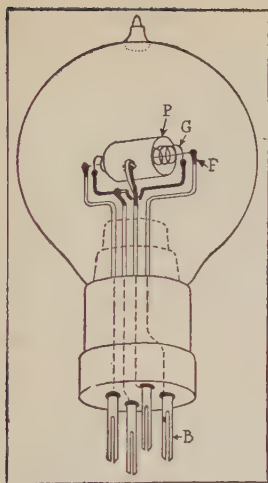


FIG. 38. — TYPE
COURANT D'AUDION

La lampe à trois électrodes a fait accomplir à la téléphonie sans fil d'énormes progrès. Placée sur l'appareil au moyen des broches *B*, elle réalise un détecteur très sensible, un amplificateur puissant ou un générateur d'ondes entretenues très pures, grâce aux courants qui circulent entre le filament *F* et la plaque *P* modifiés suivant l'état électrique de la grille *G* influencée par les vibrations.

Pendant la guerre, il en fut fait un large emploi par la radiotélégraphie aux armées. De faible puissance au début, on a réussi à réaliser ces postes pour des 5 puissances considérables en utilisant plusieurs lampes à trois électrodes de grand modèle, fonctionnant à haut voltage (jusqu'à 25.000 volts) et 10 donnant chacune dans l'antenne des puissances supérieures à un kilowatt.

La mise au point de ce matériel nouveau devait faire 15 accomplir des progrès rapides à la radiotéléphonie et l'amener à un degré de perfectionnement qu'elle n'avait jamais pu atteindre jusqu'alors. En effet, 20 non seulement l'emploi des lampes à trois électrodes a résolu le problème de la production d'ondes entretenues très pures, mais il a fourni aussi une 25 solution très élégante de l'importante question de l'emploi du microphone.

Jusqu'alors, on avait rencontré de très grosses difficultés 30

pour moduler par la parole les courants de haute fréquence engendrés dans l'antenne, dès que la puissance mise en

jeu devenait un peu importante. Le microphone à grenaille de charbon est, en effet, un appareil très sensible mais incapable de supporter des courants dépassant quelques dixièmes d'ampère. Si l'on essaie de le faire agir sur
5 des courants trop intenses, il chauffe exagérément, les grains de charbon se soudent entre eux et l'appareil devient très rapidement inutilisable. Malgré l'invention de microphones spéciaux, tels que les microphones à liquides, très ingénieux, mais trop facilement déréglables, on n'était
10 pas parvenu à moduler, d'une façon satisfaisante, la puissance oscillante d'un émetteur capable de réaliser des portées supérieures à 1.000 kilomètres.

La lampe à trois électrodes a permis d'utiliser le microphone avec des courants intenses, non plus directement,
15 mais par l'intermédiaire de relais amplificateurs successifs.

Pour les communications à toutes distances, c'est le système d'émission d'ondes entretenues par lampe à trois électrodes qui prévaut actuellement.

Si l'on emploie un poste émetteur d'une puissance
20 déterminée, la portée qu'il permettra d'atteindre en téléphonie sera, en général, inférieure de moitié à celle qui pourra être réalisée en envoyant des signaux Morse. Ceci tient à ce que le manipulateur agit par « tout ou rien » sur l'émission des ondes, les laissant passer avec leur pleine
25 intensité, ou les supprimant totalement dans l'intervalle des signaux Morse, tandis qu'en radiotéléphonie, les vibrations sonores affectent les ondes d'une façon très inégale par l'intermédiaire du microphone. Certaines de ces vibrations sont de très faible intensité et ne laissent qu'une
30 empreinte très peu profonde sur l'onde émise. Lorsque celle-ci s'affaiblit en voyageant à travers l'éther, cette faible empreinte s'atténue elle-même beaucoup plus vite

que l'onde qui la porte et elle peut devenir incapable d'agir sur le récepteur téléphonique à l'arrivée. Or, pour que la voix soit reçue d'une façon compréhensible, il faut que toutes ses modulations arrivent à l'antenne réceptrice. On s'explique donc que la portée d'un poste de téléphonie sans fil soit déterminée, non pas seulement comme en télégraphie, par la puissance des ondes, mais bien par la fraction de cette puissance qui correspond à la vibration sonore la plus faible dans le mot prononcé. 5

La Science et la Vie, Paris

XXV. Les Lampes à trois Électrodes

ÉMISSION DE CHARGES ÉLECTRIQUES PAR LE FILAMENT D'UNE LAMPE À INCANDESCENCE

Lampe à deux électrodes. — Nous décrirons d'abord le 10 phénomène duquel dérivent le fonctionnement et les propriétés de la lampe à trois électrodes.

Dans l'ampoule vide d'air d'une lampe à incandescence (fig. 39), disposons une *plaque* métallique *P*. Réunissons cette plaque au pôle positif d'une pile *A* d'une centaine 15 d'éléments et relions le pôle négatif au *filament* *F* de la lampe. Intercalons sur le fil de jonction, afin de pouvoir mesurer l'intensité du courant, un milliampèremètre *M*.

Chauffons au rouge blanc le filament en y faisant passer un courant produit par une batterie d'accumulateurs *B*. 20

L'ampèremètre *M* nous indique que la pile *A* fournit un courant. Celui-ci traverse donc nécessairement l'espace compris entre la plaque *P* et le filament *F*.

Comment des charges électriques peuvent-elles traverser cet espace vide?

Les métaux chauffés au rouge blanc laissent échapper des grains immatériels, extraordinairement ténus, d'électricité négative; un grand nombre de phénomènes physiques ont fait reconnaître leur existence; on les a appelés *électrons*. Ces grains, libérés dans l'espace vide de l'ampoule, sont attirés par la plaque chargée positivement et se précipitent vers elle avec de très grandes vitesses qui atteignent plusieurs dizaines de mille kilomètres par seconde. Des électrons quittent donc le filament et vont porter leur charge électrique à la plaque. Ce

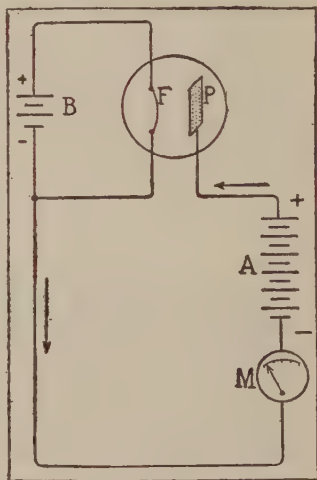


FIG. 39

sont eux qui transportent l'électricité et c'est par leur intermédiaire que la pile A peut débiter un courant dans l'espace compris entre le filament et la plaque.

On a l'habitude de dire qu'un courant va du pôle positif au pôle négatif d'une pile. Ce courant, dans l'espace filament-plaque, est donc en sens inverse du sens du mouvement des électrons. Il n'y a rien là qui doive nous arrêter, puisque ce que nous appelons sens d'un courant, est un sens purement conventionnel: on a choisi le sens qui correspondrait à un mouvement d'électricité positive. Comme, dans l'espace plaque-filament, l'électricité trans-

portée est négative, le sens qu'on a coutume d'appeler sens du courant est inverse de celui du mouvement des électrons.

Lorsqu'on augmente le nombre des éléments de la pile *A*, le nombre des électrons qui atteignent la plaque augmente d'abord, ainsi que l'intensité du courant qu'ils transportent; mais, bientôt, tous les électrons qui sortent du filament sont captés par la plaque et l'intensité du courant cesse de croître. On appelle *courant de saturation* ce courant qui ne peut être dépassé. 5 10

Lorsqu'on élève la température du filament, le nombre des électrons qui en sortent augmente, de sorte que l'intensité du courant de saturation devient plus grande.

Si on inverse la polarité de la pile *A*, la plaque chargée négativement repousse les électrons qui ne peuvent plus l'atteindre et le courant cesse. La lampe constitue donc une valve qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. La lampe à deux électrodes, le filament et la plaque, ou *diode*, a donc pu être employée comme détecteur par Fleming. 15 20

Lampe à trois électrodes ou triode. — C'est surtout après que de Forest a eu l'idée d'y ajouter une troisième électrode, la grille, que la lampe est devenue l'un des organes essentiels des postes radiotélégraphiques. La lampe à deux électrodes n'était qu'un redresseur de courant; l'adjonction de la grille en a fait un relais d'une sensibilité et d'une fidélité remarquables. Nous rappellerons qu'on appelle *relais* les appareils qui recevant de minimes quantités d'énergie insuffisantes pour actionner les organes d'un récepteur, ferment, au poste de réception, le circuit d'une pile locale, qui fournit elle-même la puissance nécessaire. Le relais est d'autant plus sensible que 25 30

des courants plus faibles suffisent à l'actionner; il est fidèle s'il reproduit exactement après les avoir amplifiées toutes les variations d'intensité du courant qu'il reçoit, même si ces variations se produisent à fréquence très élevée.

La grille *G* (fig. 40) est une électrode disposée entre le filament et la plaque; elle est constituée par un cadre conducteur entre deux côtés opposés duquel sont tendus des fils métalliques parallèles.

Intercalons une pile *C* sur un fil qui relie la grille au filament; nous pourrons, en modifiant le nombre des éléments de cette pile ou en inversant sa polarité, changer la grandeur et le sens de la différence de potentiel entre la grille et le filament.

Nous avons ainsi établi trois circuits: le *circuit de chauffage du filament*, qui comprend la batterie d'accumulateurs *B* et le filament; le *circuit de plaque*, constitué par la pile *A* et l'espace entre la plaque et le filament; le *circuit de grille*, qui comprend la pile *C* et l'espace entre la grille et le filament. Ces trois circuits ont un point commun, le pôle négatif de la batterie *B*.

Nous allons chercher comment varie l'intensité du courant dans le circuit de plaque, mesurée par l'ampère-

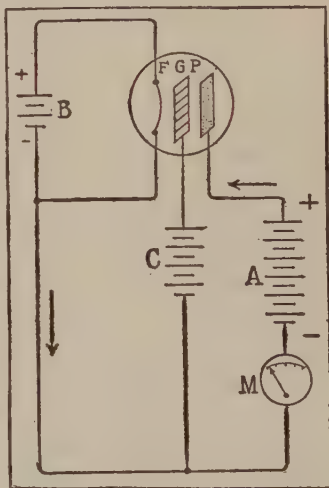


FIG. 40

mètre M , lorsque, laissant constant le nombre des éléments de la pile A , on modifie le sens et la grandeur de la différence de potentiel entre la grille et le filament.

Relions d'abord la grille au pôle négatif d'une pile C de 20 éléments environ: le potentiel de la grille est alors très inférieur à celui du filament. On constate qu'il ne passe aucun courant dans le circuit de plaque; la grille, chargée négativement, repousse les électrons qui n'atteignent pas la plaque. 5

Diminuons le nombre des éléments de la pile C : lorsque celle-ci n'en compte plus que quelques-uns, l'ampèremètre M commence à dévier et le courant qu'il indique augmente lorsqu'on continue à supprimer des éléments de pile. 10

Quant au courant dans le circuit de grille, il reste nul jusqu'à ce que, la pile C ayant été supprimée, la grille soit réunie directement au filament et, par suite, se trouve au même potentiel que lui. 15

Le courant dans le circuit de plaque continue à augmenter lorsqu'on replace les éléments de la pile C , mais en réunissant maintenant le pôle positif à la grille. Celle-ci attire alors les électrons et en capte un certain nombre; il passe, en effet, un faible courant dans le circuit de la grille et ce courant augmente avec le nombre des éléments de la pile C . 20

Cependant le plus grand nombre des électrons, attirés par la plaque, dont le potentiel est toujours plus élevé que celui de la grille, traversent les mailles de la grille, et, dans le circuit de plaque, le courant, beaucoup plus intense que dans le circuit de grille, continue à augmenter. 25

Si on élève encore le potentiel de la grille, le courant, dans le circuit de plaque, cesse de croître, tous les électrons émis par le filament sont alors captés tant par la plaque 30

que par la grille. Lorsque, enfin, on élève beaucoup le potentiel de la grille jusqu'à le rendre peu différent de celui de la plaque, la grille commence à capter une fraction importante de la totalité des électrons émis et le courant
5 de plaque baisse tandis que le courant de grille continue à croître.

Les résultats de ces observations sont résumés par les

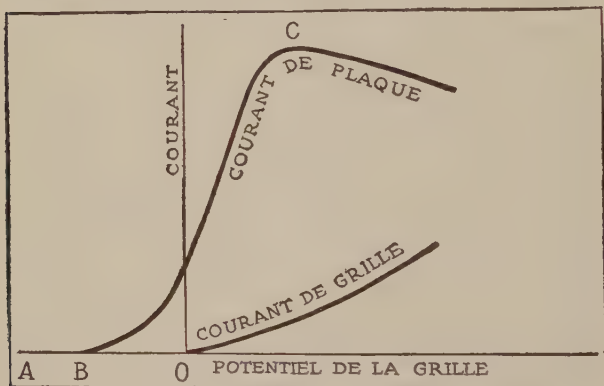


FIG. 41

courbes de la figure 41 qui représentent les variations des courants en fonction de la différence de potentiel entre la grille et l'extrémité du filament qui est reliée au pôle
10 négatif de la batterie d'accumulateurs B. On les appelle *caractéristiques de grille et de plaque* de la lampe.

Le courant de grille est bien plus faible que le courant de plaque. Sur la figure 41, il est représenté à plus grande
15 échelle que le courant de plaque.

La forme de la caractéristique de plaque montre qu'en faisant passer le potentiel de la grille d'une valeur peu

inférieure à celui du filament jusqu'à une valeur peu supérieure, on permet le passage du courant de plaque; on coupe, au contraire, le courant en abaissant à nouveau le potentiel de la grille.

Ces fermetures et ruptures du courant peuvent se faire 5 dans des temps extrêmement courts. Les électrons peuvent être arrêtés, puis transmis par la grille au moins cent millions de fois par seconde. Aucun interrupteur mécanique ne pourrait évidemment, à cause de son inertie et des frottements, approcher, même de très loin, d'aussi 10 grandes fréquences, qui dépassent celles des oscillations électriques des plus petites antennes et atteignent celles des oscillations de quelques mètres de longueur d'onde.

C. GUTTON: *Télégraphie et Téléphonie sans Fil*, Librairie Armand Colin, Paris

XXVI. Les nouvelles Locomotives électriques

Il a été décidé que l'électrification des chemins de fer d'intérêt général français se ferait, pour toutes les com- 15 pagnies, en alimentant les locomotives avec du courant continu sous la tension de 1 500 volts. Plusieurs raisons militaient en faveur d'un tel choix. En premier lieu, tous les systèmes à courants alternatifs engendrent dans les lignes téléphoniques et télégraphiques, voisines des voies 20 ferrées, des perturbations considérables que l'on n'arrive pas à combattre plus ou moins efficacement que par des solutions onéreuses. Au contraire, l'emploi du courant continu n'a fait naître aucune complication de ce genre dans toutes les applications effectuées jusqu'à ce jour. 25

Les locomotives à courant continu, d'une conduite simple et sûr, sont les seules sur lesquelles on ait pu pratiquement réaliser le freinage électrique par récupération à vitesse variable: sur les locomotives alimentées de courant
5 triphasé ou monophasé, on obtient bien automatiquement le freinage par récupération, mais seulement à vitesse constante, et l'énergie n'est récupérée qu'avec un très mauvais facteur de puissance.

Les locomotives à courant continu possèdent, comme les
10 autres locomotives électriques, l'avantage de pouvoir développer au départ, d'une façon prolongée, un effort de traction élevé sans avarie aux moteurs, ce qui n'est pas le cas des locomotives à courant monophasé. Ces derniers, par contre, peuvent développer en marche une gamme de
15 vitesses beaucoup plus variée; toutefois, les locomotives à courant continu possèdent une échelle de vitesses largement suffisante dans la pratique et sont à ce point de vue nettement supérieures aux locomotives à courant alternatif triphasé.

20 Le courant continu exige l'établissement de sous-stations munies de groupes convertisseurs rotatifs, d'un prix plus élevé et d'une exploitation plus coûteuse que les sous-stations à convertisseurs statiques des systèmes à courant alternatif. Toutefois, dans ce dernier cas, on doit utiliser
25 de basses fréquences, descendant généralement jusqu'à 15 ou 16 périodes (exceptionnellement 25 périodes par seconde) et l'on n'évite l'emploi des groupes convertisseurs qu'à condition de produire directement le courant de basse fréquence, dans des usines spéciales, ou tout au
30 moins avec des groupes de turbo-alternateurs spéciaux, qui ne peuvent servir en même temps pour les autres usages industriels ordinaires.

L'inconvénient, inhérent à l'emploi de sous-stations rotatives dans le cas du courant continu, comporte, par contre, l'avantage, pour ce système, de pouvoir utiliser n'importe quelle distribution d'énergie existante et de

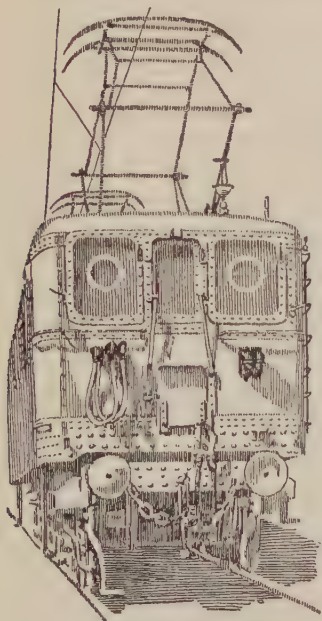


FIG. 42. — VUE EN BOUT
DE LA NOUVELLE LOCOMO-
TIVE ÉLECTRIQUE

contribuer à améliorer l'utilisation des centrales électriques, alors que les usines thermiques, ou hydro-électriques spécialisées auront toujours un rendement médiocre.

En ce qui concerne le choix de la tension (3 000, 2 400, 1 500 ou même 1 200 volts) la décision était beaucoup plus délicate à prendre. L'ensemble des renseignements recueillis par les ingénieurs et l'examen des résultats d'une étude approfondie ont permis de proposer, en définitive, pour l'électrification des lignes, le courant continu, sous la tension de 1 500 volts. Toutefois, pour les lignes à faible

trafic, ou sur des points spéciaux, l'emploi de la tension à 3 000 volts peut être admis.

La tension de 1 500 volts permettant l'alimentation en énergie électrique par troisième rail ou par ligne aérienne, toutes les locomotives sont munies des deux systèmes de

prise de courant correspondants. Enfin, les locomotives fonctionnant avec du courant continu à 3 000 volts peuvent circuler sur toutes les lignes électrifiées utilisant du courant continu à 1 500 volts.

- 5 Les nouvelles locomotives, dont les plans sont dus à un ingénieur français, ont été entièrement construites dans les ateliers de Tarbes de la Société des constructions électriques de France. La machine reçoit le courant continu 1 500 volts d'une ligne aérienne de distribution au
10 moyen de frotteurs appelés pantographes (fig. 42). Chaque unité pèse 72 tonnes et développe 1 400 chevaux, ce qui permet d'obtenir un effort de traction de 15 000 kilogrammes et une vitesse maximum de 90 kilomètres pour la machine toute seule.
- 15 Chaque locomotive est montée sur deux bogies symétriques à deux essieux. Un moteur électrique de 350 chevaux, à ventilation forcée, commande chacun des quatre essieux par l'intermédiaire d'un engrenage double, c'est-à-dire que chaque arbre moteur porte à ses deux extrémités
20 un pignon attaquant une roue dentée calée sur chaque essieu.

Quand une de ces locomotives électriques, attelée à un train, monte une rampe elle développe un effort considérable mais, au contraire, quand elle descend une pente, les
25 moteurs n'absorbent plus de courant. Ils fonctionnent alors comme génératrices et envoient du courant dans le réseau de distribution. L'énergie développée par le poids total du train pendant la descente est donc récupérée sous forme de travail utile au lieu d'être gaspillée comme
30 autrefois sous forme d'échauffement ou d'usure des organes moteurs. Un ventilateur électrique envoie de l'air froid dans les carcasses des moteurs électriques pen-

dant la marche à pleine puissance pour éviter tout échauffement exagéré.

Le système de contrôle adopté permet de n'employer que du courant ramené à la tension très basse de 120 volts. Le personnel conducteur est donc soustrait à tout risque d'accident grave par suite d'un contact accidentel avec le courant à haute tension. 5

Le courant à 120 volts est produit sur la locomotive elle-même par un groupe électrogène convertisseur auxiliaire dont le moteur sert également à actionner le ventilateur tout en fournissant le courant nécessaire au fonctionnement des compresseurs d'air ainsi qu'à l'éclairage et au chauffage à l'intérieur de la machine électrique. 10

La suspension de la nouvelle locomotive sur deux bogies a été réalisée de telle manière qu'on a obtenu la similitude complète de ces bogies au triple point de vue suspension, propulsion et freinage, tout en leur assurant une interchangeabilité parfaite, sans précautions spéciales, quel que soit le sens de la marche. 15

Ces locomotives assurent tout le trafic des trains omnibus de voyageurs (40 à 70 kilomètres à l'heure); ils pourront aussi être utilisés pour la remorque des express sur les lignes à profil accidenté. Sur les sections à profil normal, on emploiera pour le service des trains express et rapides des locomotives 2 250 chevaux. Des automotrices de 700 chevaux remorqueront, seules ou en double traction les trains circulant sur les embranchements secondaires, en remplacement des anciennes automotrices à 1 200 volts déjà en service depuis quelques années. 20 25

La ligne de contact du type caténaire est alimentée en continu 1 500 volts par des sous-stations échelonnées, le long du réseau, à des distances variant de 15 à 20 kilomètres. 30

XXVII. L'Emploi des Commutatrices dans les Transports de Force

On sait que, pour le transport de l'énergie à distance, on utilise aujourd'hui de très hautes tensions, afin de diminuer principalement la perte en ligne par échauffement des conducteurs (effet Joule). En effet, si le voltage est élevé, 5 l'ampérage peut être modéré pour un même transport de puissance électrique, l'effet Joule dépendant essentiellement du carré de l'intensité du courant et de la résistance du réseau entier.

Mais les hautes tensions sont inapplicables directement. 10 Dans le cas du courant alternatif, on emploie le transformateur statique. Avec le courant continu, on emploie généralement des convertisseurs rotatifs (commutatrices) pour obtenir des courants alternatifs, et réciproquement.

En France, l'usine centrale ou la sous-station fournit, 15 presque toujours, le courant alternatif à 50 périodes et à moyenne tension. Le courant est ensuite réparti, au moyen de lignes aériennes surélevées de 10 à 12 mètres (29 mètres aux États-Unis avec onze conducteurs par pylône) ou souterraines (principalement dans les grandes 20 villes), aux différents transformateurs statiques renfermés dans des kiosques spéciaux.

Ces appareils, absolument indispensables dans un transport de force par courant alternatif, sont toujours placés aux centres de distribution.

25 Chaque transformateur alimentant un réseau secondaire de distribution à basse tension (110 à 220 volts), il est évident que l'emplacement des kiosques de transformateurs dépend de l'importance de la clientèle à desservir,

ainsi que de la situation des emplacements disponibles. En général, ces kiosques, dont la forme varie beaucoup, sont toujours convenablement construits pour préserver d'une façon efficace le transformateur et tout l'appareillage de la pluie, de la neige et de la poussière. Ils sont très 5 spacieux; les appareils qu'ils renferment sont donc toujours bien nettement séparés. Enfin, par mesure de prudence, les kiosques reposent sur le sol, non directement, mais par l'intermédiaire d'un plancher isolant et surélevé, supporté par de robustes isolateurs. 10

Comme il est souvent nécessaire, principalement pour la traction électrique, exigeant un bon couple de démarrage pour la motrice, de transformer le courant alternatif en courant continu, nous allons indiquer la facilité avec laquelle s'effectue cette transformation dans des sous- 15 stations où l'on installe soit des groupes convertisseurs, soit des commutatrices.

Groupes convertisseurs. — Les groupes convertisseurs, bien que d'un prix assez élevé, sont encore très employés dans l'industrie, à cause de la simplicité même de leur 20 fonctionnement. Un pareil groupe se compose toujours d'un moteur à courant alternatif, dit moteur d'induction, qui entraîne une dynamo produisant le courant continu nécessaire au réseau de distribution pour la traction électrique ou pour tout autre motif exigeant du courant 25 toujours du même sens (charge d'accumulateurs, bains d'électrolyse, galvanoplastie, nickelage, etc.). La transformation s'opère aisément, dans ce cas, par l'intermédiaire de l'énergie mécanique, c'est-à-dire à l'aide du couple développé par l'électromoteur. On peut employer, 30 pour entraîner la génératrice, un moteur asynchrone ou un moteur synchrone.

Nous passons sous silence le système très intéressant de transformation par convertisseur à vapeur de mercure, et nous arrivons au procédé le plus communément employé dans la pratique pour transformer facilement le courant alternatif en courant continu.

Commutatrices. — Comme le groupe moteur-générateur, la commutatrice ne convient réellement bien qu'aux puissances élevées pour la transformation aisée des courants alternatifs en courant continu.

10 La commutatrice est la réunion en une seule de deux machines, « moteur et dynamo » ; les dimensions en sont donc plus restreintes, le prix moins élevé et le rendement devient meilleur, les pièces à entraîner étant toutes plus petites et, par suite, bien moins lourdes.

15 Une commutatrice se compose normalement d'un induit (rotor) à courant continu, muni d'un collecteur ordinaire tournant à l'intérieur d'un système inducteur (stator) composé d'une carcasse en fonte ou en acier coulé et de pièces polaires rapportées supportant les électros
20 bobinés. Les pôles alternés sont consécutivement nord et sud, comme dans un alternateur moderne. L'induit en tournant engendre du courant continu à une tension qui dépend de sa vitesse et du flux magnétique émanant des pièces polaires. Si on joint deux points diamétraux de
25 l'enroulement d'induit à deux bagues isolées et calées sur l'arbre, on obtient ainsi un courant alternatif monophasé. Si, au lieu de ces deux points, on joint trois points du même enroulement, décalés l'un par rapport à l'autre de 120° , à trois bagues, on obtient ainsi du courant triphasé, dont il
30 est aisé d'évaluer la tension efficace alternative.

La machine qui vient d'être examinée peut donc produire du courant continu et du courant alternatif à

volonté; il suffira de la lancer alors à l'aide d'une énergie extérieure quelconque.

On peut également l'alimenter par une source d'énergie électrique et elle devient alors moteur à courant continu ou moteur synchrone, suivant que le courant d'alimenta- 5 tion sera continu ou alternatif. On peut enfin l'alimenter, comme moteur synchrone, avec le courant triphasé arrivant par les bagues du rotor et engendrer du courant continu aux balais frottant sur le côté collecteur de la machine.

Ces différents régimes présentent évidemment des 10 différences très caractéristiques; la transformation d'énergie électrique triphasée en énergie électrique représentée par le courant continu (monophasé redressé) est le cas normal de la commutatrice ordinaire dans l'industrie.

Applications des commutatrices. — Les commutatrices 15 sont destinées, dans la plupart des cas, à redresser le courant alternatif du réseau sur lequel elles sont branchées. C'est pour répondre à ce mode habituel de fonctionnement que ces machines ont été envisagées et construites principalement pour la transformation aisée 20 du courant alternatif en courant continu. Elles sont généralement appliquées aux services de traction (sous-stations du Métropolitain) auxquels elles se prêtent parfaitement. Elles fournissent aux motrices du courant continu à 600 volts avec une chute de tension de 50 volts 25 en ligne.

Lorsqu'il s'agit d'une exploitation où la charge est très variable, comme un réseau urbain de faible importance ou un réseau inter-urbain, les commutatrices sont utilement munies d'un enroulement qui permet de maintenir la ten- 30 sion constante aux extrémités des câbles d'alimentation du réseau.

Les commutatrices sont souvent employées pour les distributions d'énergie, pour l'éclairage, où leur aptitude à supporter des surcharges très fortes, mais non brusques, les rend particulièrement recommandables.

- 5 Il y a pourtant un cas où de grandes précautions sont à prendre, c'est celui où les commutatrices doivent travailler parallèlement avec des génératrices à courant continu, afin que les variations de la charge puissent se répartir convenablement entre les différentes machines. C'est
- 10 donc l'étude particulière des moteurs actionnant chaque génératrice qui intervient, afin de voir de quelle manière ils sont influencés par les variations de puissance qui leur sont demandées. Ce partage de la charge ne se fera jamais
- 15 bien entre une commutatrice et un groupe moteur synchrone-dynamo. Dans ce cas, en effet, un accroissement de charge n'influe pas sur la tension aux bornes de la dynamo, dont la vitesse est invariablement réglée par le
- 20 moteur synchrone; mais la chute de voltage dans le circuit alternatif peut abaisser sensiblement la tension du courant continu aux balais (côté collecteur) de la commutatrice. Enfin, les convertisseurs rotatifs se prêtent
- 25 fort bien à tous les usages électrolytiques. A ce sujet, signalons que, depuis des années déjà, de grosses commutatrices fonctionnent de façon très satisfaisante au Niagara, où l'on fabrique électrolytiquement de la soude caustique et de l'aluminium. Les machines monophasées sont cependant impropres à la charge des batteries d'accumulateurs.

- 30 L'avantage précieux qu'offrent les convertisseurs rotatifs de pouvoir être facilement inversés est très utilisé dans les exploitations où l'on dispose simultanément du courant continu et des courants alternatifs. La commuta-

trice peut alors servir à alimenter, en cas de besoin, les lignes alternatives. On voit donc facilement tous les avantages que l'on peut retirer d'une commutatrice bien établie. Ainsi, dans une distribution de lumière à courant continu, on peut éclairer une localité très éloignée de la centrale en réalisant un transport d'énergie à haute tension au moyen de deux commutatrices, dont l'une est inversée, et de transformateurs statiques. Ce cas se présente également avec un réseau de tramways où l'usine centrale produit directement du courant continu, mais où l'on doit alimenter un très long câble d'alimentation. 5 10

Enfin, on peut encore produire avec ces convertisseurs rotatifs la *génération simultanée* du courant continu et des courants alternatifs. En effet, munie d'une poulie de transmission et entraînée par un électromoteur indépendant, une commutatrice peut encore débiter simultanément du courant alternatif et du courant continu. Dans ce cas, les réactions d'induit (courant continu et courant alternatif) ne sont plus opposées, comme dans les cas précédents, mais s'ajoutent, au contraire. 15 20

Il y a une autre application possible des commutatrices munies d'une poulie, actionnée par un moteur indépendant.

Elles pourraient donner, d'un côté, celui du collecteur, la charge nécessaire en courant continu, de faible ampérage, aux petites batteries d'accumulateurs servant au courant d'échauffement du filament des tubes à vide employés actuellement dans la télégraphie sans fil et dans la radiotéléphonie. A l'autre extrémité, du côté des bagues, l'enroulement triphasé donnerait le courant alternatif à haute tension pouvant servir au fonctionnement d'un poste émetteur d'ondes hertziennes amorties. 25 30

Des perfectionnements réels viennent d'être apportés à la construction des commutatrices, qui, après avoir donné toute satisfaction sous 600 volts et sous des fréquences croissantes (25, 50 et même 60 périodes par seconde), se
5 sont adaptées parfaitement aux besoins récents des réseaux de traction plus modernes, exigeant des tensions de fonctionnement de 1 500 et même de 3 000 volts.

Il faut remarquer, toutefois, que ce maximum de tension (3 000 volts) n'est pas réalisable en même temps que le
10 maximum de la fréquence employée (60 par seconde) sur une seule commutatrice, c'est-à-dire avec un induit et un collecteur.

La tension diminue avec l'augmentation de la fréquence; et aux environs de 30 périodes par seconde, le voltage de
15 1 500 est la limite admissible pour une commutatrice, ce qui explique que la généralité des installations en comportent toujours deux en série pour les tensions de cet ordre.

Si toutefois les commutatrices forment encore un convertisseur rotatif assez encombrant, d'un poids lourd et
20 d'un prix relativement élevé, en tout cas plus réduit que celui d'un groupe convertisseur moteur-dynamo, on peut juger, d'après toutes les applications précédentes, les réels services qu'elles peuvent rendre dans l'industrie pour la transformation facile de l'énergie transportée en grande
25 puissance et à distance, transmission et transformation que l'on ne doit pas ignorer.

La Science et la Vie, Paris

GÉNIE CIVIL

XXVIII. Ferdinand de Lesseps et le Canal de Suez

Ferdinand-Marie, vicomte de Lesseps naquit à Versailles le 19 novembre, 1805. Après avoir fait ses études au lycée Henri IV il fut attaché à plusieurs consulats. Ce fut durant son consulat au Caire qu'il lut en 1831 l'ouvrage qui résumait les travaux de la commission scientifique qui 5 avait suivi Bonaparte en Égypte. Le *Mémoire* de M. Lepère, l'un des ingénieurs de l'expédition d'Égypte, le frappa vivement et sa vocation fut immédiatement décidée. Pendant sept années, l'audacieux novateur mûrit son projet, soutenu par les encouragements de Méhémet- 10 Ali. Alors, il laisse s'écouler le règne d'Abbas-Pacha, qu'il devine trop Turc pour désirer la gloire des civilisateurs.

Mais Mohammed-Saïd succède à Abbas-Pacha, et, à peine sur le trône, en juillet 1854, il mande M. de Lesseps 15 avec ses plans. Le 15 novembre suivant, ce dernier lui remettait un rapport d'une netteté remarquable, s'appuyant principalement sur la diminution des distances et l'économie de temps qui résulteraient de l'adoption de son projet (pour ne citer qu'un exemple, la route de Constan- 20 tinople à Bombay raccourcie de 4.300 lieues); et aussi sur la question de l'intérêt international.

Dans les considérations développées à l'appui de ce dernier point, l'auteur du *Mémoire*, comme s'il prévoyait

la résistance que devait lui opposer l'Angleterre, réfutait d'avance ses arguments: « Comment une entreprise destinée à abrégé de moitié la distance entre l'occident et l'orient du globe, pourrait-elle ne pas convenir à la Grande-
5 Bretagne, maîtresse de Malte, de Gibraltar, d'Aden, d'établissements importants sur la côte orientale de l'Afrique, de l'Inde, de Singapour, de l'Australie? »

Quinze jours après, le 30 novembre 1854, le vice-roi signait un acte de concession très avantageux pour M. de
10 Lesseps et lui assurant le bon et loyal concours de l'Égypte. Il lui adjoignait en même temps deux ingénieurs français depuis longtemps à son service et dont le concours a été fort utile à M. de Lesseps, MM. Linant-Bey et Mougel-Bey.

15 Une commission internationale, chargée de l'examen du projet, approuva les travaux de MM. de Lesseps, Linant et Mougel, au point de vue théorique. L'ouverture de la navigation, le 17 novembre, 1869, démontra suffisamment leur excellence au point de vue pratique. L'inauguration
20 eut lieu avec une solennité et un éclat qu'on ne retrouverait peut-être au même degré dans aucune autre cérémonie. Aucune n'a été saluée par des acclamations plus unanimes. Le canal apparaissait comme un symbole de paix, comme le trait d'union entre les parties de l'univers, comme un
25 puissant instrument de civilisation et de progrès.

L'année suivante, M. de Lesseps fit un voyage à Londres et à Liverpool, qui fut l'occasion des témoignages les plus chaleureux. Le Prince de Galles lui remit la médaille d'or du Prince Albert et prononça ces paroles: « La Grande-
30 Bretagne n'oubliera jamais que c'est à vous qu'est dû le succès de cette grande entreprise, qui est destinée à développer à un si haut point les intérêts commerciaux qui

existent entre elle et ses possessions de l'Orient, et j'espère que, depuis que vous êtes parmi nous, la nation anglaise vous a prouvé combien elle apprécie les avantages que votre grande œuvre a déjà procurés et procurera à notre pays. » En même temps M. Gladstone, Premier ministre, 5 lui annonçait que la Reine Victoria lui décernait la grand' croix de l'Étoile de l'Inde pour « l'énergie, l'habileté, la persévérance avec lesquelles pendant tant d'années et au milieu de si grandes difficultés, il avait poursuivi la création du canal de Suez aujourd'hui heureusement achevé ». 10 Ainsi l'Angleterre a reconnu qu'au lieu de s'opposer à la grande création de M. de Lesseps, elle aurait mieux fait de s'y associer.

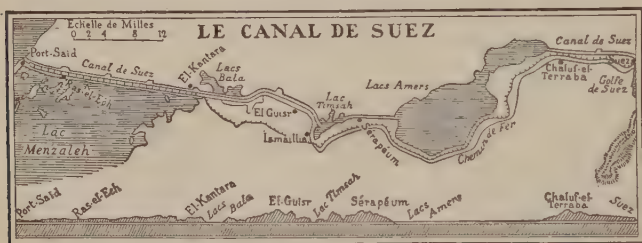
M. de Lesseps fut élu membre de l'Académie des Sciences en 1873 et membre de l'Académie française en 1884. Il 15 mourut à La Chenaie le 7 décembre, 1894 à quatre-vingt-neuf ans. Son corps fut ramené à Paris où il trouve sa dernière demeure.

* * *

Dans ses *Lettres à Lucilius*, Sénèque dit: « C'est un grand spectacle, bien digne de fixer l'attention de la Divinité, que celui d'un homme de bien aux prises avec le 20 malheur. » Est-ce un moins grand spectacle, demanderons-nous, que celui d'un homme de cœur luttant contre les forces brutales de la nature, contre le mauvais vouloir de l'homme, plus redoutable encore, et triomphant de tous 25 les obstacles sans autre secours que son intelligence et son énergie? Nous venons de résumer dans cette phrase le « travail de Romain » accompli par M. de Lesseps, et le mot est bien choisi, car c'est la construction de leurs grandes voies, telles que la « voie Appienne », qui a fait 30 passer en proverbe le travail des Romains.

Cependant les difficultés qu'a eu à vaincre M. de Lesseps sont plutôt venues des entraves apportées à l'achèvement de son œuvre que des obstacles naturels. En effet, l'esquisse que nous allons essayer de donner du tracé
 5 démontrera que, s'il y a eu des travaux considérables à effectuer, la configuration même du sol en facilitait l'exécution.

Si l'on abaisse du Caire à la Méditerranée une perpendiculaire, elle aboutira à Damiette. Une parallèle menée
 10 à cette perpendiculaire, de Péluse au golfe de Suez, figurera



LE CANAL DE SUEZ

exactement, bien qu'assez grossièrement, la ligne du canal maritime qui a remplacé l'isthme en mettant la mer Rouge en communication avec la Méditerranée.

Ce canal s'étend sur une longueur de 160 kilomètres, dont 80 se trouvaient à peu près creusés par la nature, comme si elle eût voulu indiquer à l'homme l'œuvre à exécuter; sur une centaine de kilomètres il traverse des terrains à la hauteur de l'eau, ou situés plus bas; sur une soixantaine il s'engage dans des terrains plus élevés; mais
 20 en somme, à ses deux extrémités, la différence des niveaux n'est pas bien sensible, car la hauteur de la Méditerranée n'est inférieure que de seize centimètres à celle de la mer

Rouge. Voici d'ailleurs en résumé la configuration de l'isthme d'après les cartes topographiques: entre la mer Rouge et le golfe de Péluse, du sud au nord, le terrain subit une dépression qui est très accusée, surtout dans la traversée des lacs Amers et du lac Timsah; cette dépression 5 présente bien quelques renflements entre les lacs Amers et le lac Timsah, et plus loin entre le lac Timsah et le lac Menzaleh; mais, sauf deux seuils très courts, celui d'El-Guisr, élevé de 18 mètres et celui du Sérapéum élevé

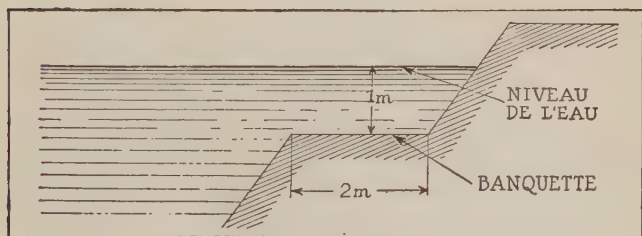


FIG. 43

de 10 mètres, l'isthme offre dans toute sa longueur un 10 thalweg à peu près horizontal.

A Port-Saïd le canal entre dans la mer au moyen d'une double digue en pierre, de 1.000 mètres et de 2.500 mètres pour atteindre les points où l'eau a 9 mètres de profondeur.

Partout la profondeur du canal est de 9 mètres au- 15 dessous de la ligne d'eau et la largeur de son plafond de 22 mètres.

Sur une longueur de 32 kilomètres, à la traversée des seuils d'El-Guisr, du Sérapéum et de Chalouf-el-Terraba, la largeur, qui ailleurs est de 100 mètres, n'en compte que 20 65 à la ligne d'eau; on a établi, de chaque côté, à 1 mètre au-dessous du niveau de l'eau, une banquette de 2 mètres

de large (fig. 43). Sur le reste du parcours, les talus mis en harmonie avec le terrain n'ont jamais une inclinaison moindre que 2 de base sur 1 de hauteur, et une banquette, dont la largeur varie avec leur pente, borde à 1 m. 75 au-
5 dessous de la ligne d'eau les parties où la largeur est de 100 mètres. Il était difficile, pour ne pas dire impossible, de mieux tenir compte des accidents du terrain.

XXIX. La Photographie appliquée aux Levés de Plans

L'idée d'appliquer la photographie aux levés de plans est presque aussi ancienne que la photographie elle-même,
10 puisque, dès 1838, Gay-Lussac et Arago signalaient les services considérables que l'invention de Daguerre était susceptible de rendre à la topographie.

Bien avant cette époque, vers 1791, l'ingénieur hydro-
graphe Beautemps-Beaupré avait imaginé d'employer des
15 vues perspectives dessinées à la main pour établir les cartes hydrographiques. Cinquante ans plus tard, le chef de bataillon du génie Leblanc introduisait la méthode de Beautemps-Beaupré dans les reconnaissances topographi-
ques à terre, et, vers 1849, le capitaine du génie Laussedat
20 la perfectionnait en utilisant la chambre claire de Wol-
laston pour dessiner les perspectives.

Certains attribuent au colonel d'artillerie Langlois les premiers essais de phototopographie. Ce qui est certain, c'est que, dès 1852, Laussedat entreprit des expériences
25 de levés par la photographie et qu'il les poursuivit jusqu'en 1859, à travers de nombreuses difficultés. On peut dire

que Laussedat est véritablement et sans conteste possible le père de la phototopographie.

Les expériences qu'il avait commencées furent poursuivies de 1865 à 1870, par le capitaine du génie Javary



J.-L. GAY-LUSSAC

Physicien et chimiste français

et le garde du 5
génie Galibardy.
Pendant le siège
de Paris, en 1870-
1871, le capitaine
Javary prit un 10
grand nombre de
clichés, d'où il tira
des renseigne-
ments fort intéres-
sants pour l'orga- 15
nisation du tir de
notre artillerie.

Bien que les
résultats obtenus
fussent remarqua- 20
bles, la méthode
phototopographi-
que n'eut pas, en
France, tout le
succès qu'elle 25

méritait. Bien mieux, tandis qu'à l'étranger les procédés métrophotographiques de Laussedat se répandaient rapidement et se perfectionnaient, en France, ils étaient à peu près abandonnés.

En Allemagne, la première publication relative à l'art 30
de lever les plans à l'aide de la photographie date de 1865.
Le Dr. Meydenbauer, en 1867, et le Dr. Stolze, en 1882,

exécutèrent quelques petits levés par la photogrammétrie. En 1893, Hector de Grousilliers, ingénieur à Charlottenbourg, imaginait le principe du télémètre stéréoscopique que le Dr. Pulfrich parvenait à réaliser, en 1898, sous le
5 nom de *stéréotélémètre*. C'est le stéréotélémètre qui amena le Dr. Pulfrich à étudier les photographies stéréoscopiques et à mettre au point, en 1901, le *stéréocomparateur*, appareil permettant d'effectuer sur les clichés des mesures d'une précision extrême, et, par suite, de calculer ou de
10 construire les éléments nécessaires à l'établissement du plan. La méthode dont Pulfrich est le créateur est la *stéréogrammétrie*. En 1908, le lieutenant autrichien d'Orel, né à Trieste, faisait construire le premier modèle d'un dispositif mécanique qui, combiné avec le stéréocomparateur,
15 permettait d'obtenir automatiquement et sans aucun calcul, le tracé des détails planimétriques *et des courbes de niveau* : cet appareil est le *stéréoautographe*, adopté, depuis lors, par plusieurs grands États pour leurs levés officiels.

Avantages de la stéréoautographie. — L'emploi du stéréoautographe présente des avantages considérables sur
20 tous les autres procédés topographiques et tous les reproches qu'ont pu faire à la stéréoautographie certains auteurs routiniers ou mal informés sont inexistantes. Les principaux avantages du procédé nouveau sont les
25 suivants :

Suppression des fautes. — Le colonel Goulier avait coutume de dire que les fautes étaient la « pierre d'achoppement » du topographe. Tous ceux qui ont fait beaucoup d'opérations topographiques savent, en effet, combien
30 il est facile de se tromper et combien il est nécessaire ou même indispensable de se ménager constamment des vérifications.

Le procédé stéréoautographique n'exige la détermination préalable — très précise, il est vrai — que d'un petit nombre de points, par les procédés ordinaires de la géodésie et de la topographie. Les chances de fautes sur le terrain se trouvent dès lors réduites au minimum, car les opérations étant peu nombreuses, le topographe peut, à loisir, les effectuer en prenant toutes les précautions voulues et les contrôler avec soin. 5

Lorsque les photographies sont prises, la restitution des détails planimétriques et le tracé des courbes de niveau étant absolument automatiques, là encore, les chances de fautes sont réduites au minimum. 10

Remarquons, d'ailleurs, que si les bases ont été correctement déterminées et si les photographies ont été correctement prises, une faute commise dans la restitution est facile à rectifier au *bureau*. Lorsqu'on emploie les procédés classiques, la correction d'une faute quelconque nécessite presque toujours le retour du topographe sur le terrain. 15

Précision. — En France, beaucoup d'auteurs sceptiques et partisans des anciens procédés ont émis des doutes sur la précision des levés obtenus au moyen du stéréoautographe. Disons tout de suite que toutes les expériences entreprises pour déterminer la valeur des résultats fournis par cet instrument ont montré que la précision obtenue était toujours au moins égale et dans la plupart des cas, très supérieure à celle des procédés ordinaires de la topographie. 20 25

Une expérience courante consiste à faire restituer une portion de terrain plusieurs fois de suite par le même opérateur ou par plusieurs opérateurs distincts, et en utilisant des clichés pris de bases différentes. Les dessins obtenus (planimétrie et courbes de niveau) se superposent 30

exactement dans la plupart des cas et diffèrent rarement de plus de l'épaisseur du trait de crayon, résultat qui *n'est jamais atteint* lorsque le même levé a été fait plusieurs fois par le même topographe ou par des topographes différents.

- 5 Il y a lieu de remarquer, en ce qui concerne les altitudes, que les courbes de niveau sont déterminées avec la même précision que les points cotés isolés. Remarquons encore que l'exactitude et la précision restent les mêmes lorsqu'il s'agit de régions inaccessibles: c'est le cas de la plupart
10 des levés de haute montagne en pays très accidenté.

Continuité des détails et continuité des formes du terrain. — Qu'il s'agisse de détails planimétriques ou qu'il s'agisse de courbes de niveau, les procédés ordinaires de la topographie ne donnent que des *points isolés* reliés entre
15 eux au sentiment par le topographe pour obtenir les diverses lignes du dessin.

Le stéréoautographe trace toutes ces lignes d'une manière *absolument continue* et c'est là l'un des grands avantages de cet instrument: plus de discontinuités fâcheuses
20 comme on en trouve dans la plupart des levés exécutés par les procédés classiques, principalement en ce qui concerne les courbes de niveau obtenues par interpolation.

Vérité et richesse du modelé. — L'appareil dessine à leur place exacte tous les mouvements caractéristiques du
25 terrain: vallées, croupes, cols, mamelons, crêtes, lignes de changement de pente, etc. . . . Il donne, en outre, à la perfection, les moindres détails du relief, de sorte que le modelé est d'une vérité et d'une richesse à laquelle ne peut prétendre aucun de tous les autres procédés topo-
30 graphiques connus.

Certains auteurs ont estimé que l'instrument donnait même trop de détails et que, parmi toutes les sinuosités

des courbes de niveau qu'il enregistrait, l'œil ne savait plus distinguer les mouvements principaux des mouvements secondaires. Il n'est pas un topographe connaissant son métier qui ne puisse procéder à la *généralisation* des formes et supprimer, s'il est nécessaire, les détails qui risqueraient de rendre le levé confus et lui feraient perdre de sa clarté. L'objection précédente n'a donc aucune valeur. 5

N'oublions pas, en outre, que le topographe peut examiner, au moyen d'un stéréoscope, deux épreuves sur papier ou deux positives sur verre tirées des clichés négatifs, et qu'il a le moyen d'avoir constamment sous les yeux avec un relief saisissant, l'*ensemble* du terrain qu'il doit lever, ce qui est encore un avantage des plus appréciables. 10

Rapidité d'exécution. — A l'échelle du 10 000^e, un topographe employant les procédés ordinaires, lève environ 400 hectares par mois (canevas d'ensemble compris) pour un terrain de difficulté moyenne; à l'échelle du 20 000^e, son rendement, dans les mêmes conditions, est d'environ 700 à 800 hectares. On peut admettre que ce rendement est au moins triplé par l'emploi du procédé stéréoautographique. 15 20

Aux échelles plus grandes: 2 000^e et 1 000^e, l'écart est encore plus considérable.

Diminution du prix de revient. — La stéréoautographie permet, à toutes les échelles, de réduire le prix de revient du levé de l'hectare ou du kilomètre carré, dans des proportions assez notables. Il faut tenir compte, il est vrai, de l'amortissement du prix des instruments employés et, en particulier, du stéréoautographe, qui est fort coûteux. Il est nécessaire également d'avoir sur le terrain un assez grand nombre de porteurs et d'aides. Mal- 25 30

gré cela, la durée des opérations totales se trouve tellement réduite que, tout compte fait, le prix de revient est notablement inférieur à celui qu'entraîne l'emploi des procédés ordinaires.

- 5 Tels sont les principaux avantages de la stéréoautographie. On a voulu, cela va sans dire, découvrir quelques inconvénients à l'emploi de ce nouveau procédé.

Tout d'abord, lorsque le sol est couvert par la végétation, les photographies stéréoscopiques ne permettent pas,
10 dit-on, de tracer les courbes de niveau sur le terrain lui-même. Cet argument a sa valeur; mais il faut observer que, dans ce cas, avec les procédés ordinaires, le topographe de détail se trouve, le plus souvent, dans l'impossibilité de filer les courbes de niveau (c'est-à-dire d'en
15 chercher directement les points de passage sur le terrain même) et qu'il est obligé de les tracer par interpolation, ce qui conduit toujours à un figuré de terrain peu précis et défectueux. La végétation n'empêche d'ailleurs pas, en employant les vues stéréoscopiques, de mettre exacte-
20 ment à leur place les lignes et les points caractéristiques du terrain: thalwegs, lignes de faîte, cols, lignes de changement de pente, etc. . . ., ce qui est encore, dans ce cas, un avantage du procédé stéréogrammétrique. Si, d'ail-
25 *à certaines époques de l'année*, la végétation est gênante dans certaines régions et il n'en résulte pas qu'on doive abandonner le procédé nouveau; on le combinera simplement avec les services qu'il peut rendre, et on choisira, si on le peut, l'époque la plus avantageuse pour prendre les photographies. Un restituteur exercé peut,
30 d'ailleurs, tenir compte assez aisément de la hauteur de la végétation pour tracer les courbes de niveau, et l'on peut affirmer que le figuré du terrain obtenu est encore très

supérieur à celui qu'obtient, à grand'peine, le topographe classique.

On a dit encore que certaines parties de terrain échappaient à l'objectif photographique. Cela est incontestablement exact. Mais, de deux choses l'une: ou bien ces parties sont accessibles, et il suffit de les lever par les procédés classiques pour compléter le plan, ou bien, elles sont inaccessibles et l'on se trouve vis-à-vis d'elles dans la même situation que le topographe ordinaire.

Ainsi, l'on ne peut faire à la stéréoautographie aucun reproche sérieux et les avantages considérables de ce procédé sont tellement évidents qu'il s'imposera bientôt d'une manière absolue, d'autant plus qu'un jour viendra — assez prochain sans doute — où il sera possible de l'appliquer aux photographies aériennes.

La Science et la Vie, Paris

XXX. Les Signaux électro-pneumatiques

L'insuffisance de l'organisation actuelle des signaux dans les grandes gares, vis-à-vis des exigences toujours grandissantes du trafic, ne fait qu'augmenter chaque jour. Le nombre et la vitesse des trains tendent à s'accroître sans cesse. Les stations terminus ainsi que les gares de bifurcations ou de triage occupent des superficies tellement considérables que les batteries de signaux manœuvrées et contrôlées par des moyens purement mécaniques n'y assurent plus depuis longtemps la sécurité des trains.

Les tringles de manœuvre rigides en tubes d'acier qui actionnent encore, en de trop nombreux points, les aiguil-

les et leurs verrous, constituent des appareils à transmission totalement mécanique qui sont lourds à actionner du fait de la longueur qu'on est obligé de leur donner dès qu'il s'agit de grandes gares où certaines aiguilles sont
5 forcément très éloignées des postes. Il est donc nécessaire de rattraper autant que possible, au moyen d'appareils compensateurs, le jeu qui tend à se produire dans ces transmissions par suite de l'usure et des dilatations fréquentes produites par la chaleur.

- 10 L'entretien de ces systèmes mécaniques est naturellement cher et compliqué. D'autre part, l'énorme faisceau de transmissions par tubes et par fils, partant d'un poste de grande gare, tient une place énorme dans les voies souvent très resserrées, surtout aux abords des grandes
15 villes, des bifurcations importantes et des centres de triage.

La commande au moyen d'un fluide — air comprimé ou électricité — s'impose donc si l'on veut absolument supprimer ces inconvénients.

- 20 Dès 1883 M. George Westinghouse, le déjà célèbre inventeur des freins à air comprimé, avait imaginé un système de manœuvre des signaux et des aiguilles basé sur l'emploi de moteurs à air comprimé actionnés à distance au moyen de valves installées dans des postes de
25 commande. C'était, en somme, une application presque directe au problème de la sécurité des trains, de la solution qui lui avait si bien réussi pour la manœuvre des freins des voitures des trains de voyageurs.

- Ce système de transmission fut, d'ailleurs, reconnu
30 défectueux; la trop grande longueur des tuyauteries que l'air avait à parcourir dans les deux sens pour se rendre aux moteurs et pour en revenir, occasionnait un retard

inadmissible dans les manœuvres des appareils. De plus, les conduites étaient sujettes à des fuites fréquentes très difficiles à localiser avec précision et à réparer.

La transmission hydraulique, qu'on avait songé à employer, présente également des difficultés dont la principale résulte du froid qui fait geler l'eau des conduites. Les appareils électriques, tels que les moteurs à électro-aimants, ne sont pas non plus d'un fonctionnement assez sûr quand on leur demande un travail énergique nécessitant l'emploi de trop forts courants.

En 1884, G. Westinghouse installa, pour la première fois, un système composé d'appareils à commande hydro-pneumatique dans lequel des moteurs à air comprimé, disposés à proximité des aiguilles et des signaux, étaient reliés à une cabine centrale par une canalisation d'eau sous pression qui commandait des valves d'admission et d'évacuation d'air. On obtenait ainsi une plus grande rapidité de transmission, mais les nombreuses canalisations qu'il fallait poser donnaient lieu à de multiples fuites qui paralysaient souvent l'action hydraulique.

Enfin, à partir de 1892, Westinghouse appliqua son système électro-pneumatique qui est arrivé aujourd'hui à un haut degré de perfectionnement, notamment aux États-Unis, en Angleterre, en France, etc.

Le principe du système Westinghouse consiste à placer, près de chaque aiguille ou signal, un moteur alimenté d'air comprimé à 4 ou 5 kilos par centimètre carré au moyen d'une station centrale d'où part un réseau de conduites en fer de 40 à 50 millimètres de diamètre. L'effort est ainsi produit près de son point d'emploi et s'exerce sans déperdition. Chaque moteur à air comprimé comprend essentiellement un cylindre dans lequel se déplace

un piston relié à l'appareil de voie qu'il s'agit d'actionner. L'admission et l'échappement de l'air fourni par la canalisation générale s'opèrent au moyen d'un distributeur commandé par une petite valve spéciale électro-pneumatique.

5 Ces valves sont reliées, par un réseau de conducteurs électriques, aux petits leviers de commande montés sur des tables de manœuvre placés dans des postes répartis dans les gares le long des voies. On réunit sur une même table les leviers correspondant à certains groupes de signaux
10 et d'aiguilles. La disposition des tables de manœuvre permet de commander de chaque cabine les mouvements des signaux et des aiguilles qui en dépendent, quelle que soit la distance des appareils.

Les moteurs pneumatiques conviennent tout particu-
15 lièrement aux fonctions qu'ils ont à remplir, car leurs mouvements parfaitement définis et rectilignes peuvent être directement transmis aux appareils à commander (fig. 44).

L'emploi de l'air comprimé permet de développer des efforts suffisants avec une consommation très faible, qui
20 ne dépasse pas quinze litres d'air à la pression atmosphérique, par minute et par levier, même sur les points où le trafic est ordinairement le plus intense.

Un courant très faible de 0,1 ampère sous 12 volts, suffit pour commander chaque valve de moteur à air
25 comprimé. On peut donc ainsi simplifier à la fois les canalisations, qui sont en fils de petite section, et l'isolement, qui n'a pas besoin d'être spécial. Dans les soubassements en pierre ou en briques des postes, sont logées des batteries d'accumulateurs qui fournissent le courant et que l'on
30 charge, soit par un réseau de distribution local, soit par un groupe électrogène à essence.

Nous avons vu que les moteurs à air comprimé, dis-

séminés le long des voies, près des aiguilles et des signaux, sont commandés au moyen de petits leviers réunis sur

une table de manœuvre placée dans une cabine surélevée. Sur cette table se 5 trouvent des barres métalliques horizontales et des barres verticales munies d'encoches. Ces barres se déplacent les unes par 10 rapport aux autres, de manière à rendre l'ouverture et la fermeture de certains signaux, ou aiguilles, solitaires de la fermeture ou de 15 l'ouverture d'un certain nombre d'autres signaux.

A la partie supérieure du meuble sont couchés des cylindres pleins, en ébonite, 20 munis de contacts en cuivre; à chaque levier correspond un de ces cylindres, lequel a pour objet d'établir les connexions utiles entre les 25 câbles conducteurs qui relient les leviers aux valves de commande des moteurs.

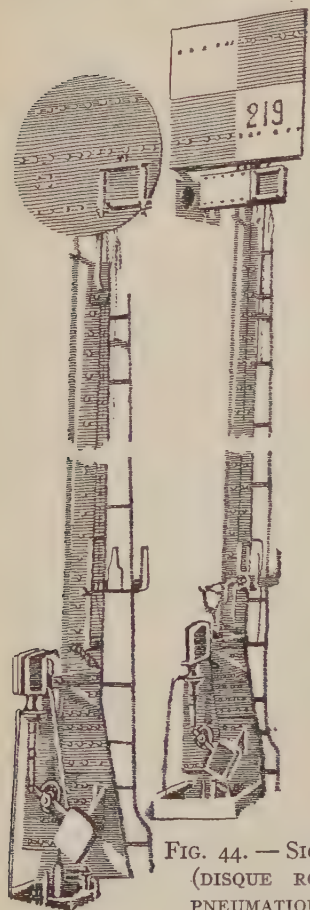


FIG. 44. — SIGNAL CARRÉ ET SIGNAL AVANCÉ (DISQUE ROND) À MANŒUVRE ÉLECTRO-PNEUMATIQUE

Les appareils moteurs sont au pied des mâts.

La position de ces contacts est déterminée de manière à réaliser les connexions voulues pour provoquer ou pour paralyser, au mieux de la sécurité des voies, le déplacement des distributeurs d'air. Il y a donc aussi un enclenchement
5 électrique entre ces distributeurs et, par conséquent, entre les moteurs et appareils correspondants. Grâce à l'emploi du système électro-pneumatique, on a pu réduire sensiblement le nombre des leviers employés, comparativement à celui que nécessitent les systèmes mécaniques, sans dimi-
10 nuer en rien la sécurité des manœuvres.

Les dimensions et l'écartement des leviers sont plus faibles que dans les systèmes ordinaires, le nombre de leviers étant déjà, comme il vient d'être dit, plus restreint; il s'ensuit qu'une cabine électro-pneumatique est notable-
15 ment plus petite qu'une cabine ordinaire.

Tous les mouvements des appareils de voie et des signaux sont répétés ou, comme l'on dit, « contrôlés » électriquement sur la table de manœuvre de la cabine dont ils dépendent. Cette répétition est, d'ailleurs, plus
20 qu'un simple contrôle: si, en effet, une manœuvre était totalement ou partiellement empêchée, le levier correspondant de la table de manœuvre se trouverait verrouillé, ainsi que tous les autres leviers avec lesquels il est enclenché, jusqu'à ce que l'on ait fait disparaître la cause
25 accidentelle qui entravait le fonctionnement régulier d'un appareil.

Les moteurs de signaux sont à simple effet, c'est-à-dire que l'air comprimé agit sur une seule face du piston pour maintenir le signal à « voie libre », ce dernier étant ramené
30 automatiquement à l'arrêt par le jeu d'un contrepoids toutes les fois que l'action de l'air comprimé se trouve interrompue pour une cause quelconque. Les moteurs

d'aiguilles sont à double effet, c'est-à-dire que l'air comprimé agit sur une face du piston ou sur l'autre pour obtenir, suivant le besoin, un déplacement de l'aiguille dans un sens ou dans l'autre.

La position des signaux et des aiguilles est constamment indiquée dans la cabine par des organes répétiteurs ou de contrôle qui permettent de subordonner les manœuvres de chaque appareil aux positions respectives des autres. Les organes de contrôle comprennent, d'une part, les interrupteurs ou commutateurs actionnés mécaniquement par les signaux ou par les appareils de voie; d'autre part, les électro-aimants disposés dans la cabine mettent en jeu des verrous appropriés sous l'influence des courants établis par les commutateurs de contrôle. Chaque signal commande également un commutateur intercalé dans un circuit de contrôle qui se ferme en même temps que le signal est ouvert. La fermeture et l'ouverture de chaque circuit se manifestent dans la cabine par l'allumage ou par l'extinction d'une petite lampe à incandescence.

Les connexions entre la cabine et les appareils à manœuvrer sont établies au moyen de câbles isolés composés par la réunion de plusieurs torons de fils et placés dans des caniveaux bien étanches courant le long des voies.

Chaque appareil possède son câble particulier complètement indépendant des autres. Les canalisations d'air comprimé sont également abritées dans les caniveaux dont on vient de parler.

L'absence complète de transmissions mécaniques, entre la table de manœuvre et les appareils commandés permet d'établir les cabines aux endroits les mieux situés, sans se préoccuper de l'emplacement des appareils. La cabine peut même, au besoin, être installée avec la plus grande

facilité sur une passerelle indépendante dominant les voies.

En raison de leur souplesse, les connexions électriques permettent également d'actionner les signaux et les appa-
5 reils de voie depuis la cabine, même dans les cas où des réparations de voies empêcheraient la commande à distance par les moyens ordinaires qu'on a énumérés plus haut.

En résumé, la commande des moteurs d'aiguilles et de signaux par les leviers de la cabine, et la répétition dans
10 cette cabine des mouvements obtenus, s'effectuent par l'emploi de courants électriques très faibles, dans les meilleures conditions possibles de rapidité et de sécurité.

La manœuvre des aiguilles et des signaux n'est pas influencée par les variations de température. Grâce au
15 système de contrôle employé, on est certain que les aiguilles et les signaux arrivent à fond de course; les signaux ne peuvent ainsi donner aucune indication douteuse, ce qui facilite l'exploitation.

Les connexions électriques par câbles et la canalisation
20 d'air étant enfermées dans des caniveaux facilement accessibles, sont donc beaucoup moins exposées aux avaries graves que les transmissions par fils et par tiges rigides pleines ou tubulaires des systèmes mécaniques; l'entretien ne comporte aucun graissage et se trouve réduit à sa plus
25 simple expression, ce qui est très important.

Quand il s'agit d'actionner un signal avancé situé très loin de la dernière cabine d'une gare, on a économie à ne pas employer un moteur à air comprimé. Dans ce cas, on a recours à un moteur électrique à bas voltage fonction-
30 nant avec huit éléments Leclanché ordinaires et dont la mise en action est provoquée par le même courant qui sert à la commande des moteurs à air comprimé situés

plus près de la cabine. La position des aiguilles et des signaux est indiquée dans la cabine sur un tableau graphique placé sous les yeux du signaleur; ce détail a beaucoup d'importance par le temps de neige ou de brouillard. L'action des moteurs sur les appareils s'exerce progressive- 5 ment et sans chocs; l'usure des appareils est ainsi réduite au minimum et on évite le bris des verres ou des lentilles, si fréquents avec les commandes mécaniques.

On obtient donc, par l'emploi du système électropneumatique des conditions de sécurité parfaites pour la 10 manœuvre des signaux et des aiguilles des grandes gares. La circulation des trains sur ces points autrefois considérés comme dangereux pourra donc avoir lieu avec autant de facilité qu'en pleine voie.

La Science et la Vie, Paris

XXXI. Le plus grand Pont du Monde construit en Ciment non armé

L'utilisation du béton de ciment a fait des progrès 15 considérables. Il est devenu possible, actuellement, de construire des voûtes *non armées* de 340 mètres de portée et des voûtes *armées* dont la portée peut atteindre sans danger 830 mètres.

Le pont de Villeneuve-sur-Lot détient actuellement le 20 record mondial des constructions de ce genre en *béton non armé*. (Fig. 45.)

Il est destiné à livrer passage à une voie ferrée d'intérêt local et à une voie routière qui soulagera l'ancien et pittoresque pont moyenâgeux d'une partie de son charroi. 25 On a donné au tablier du nouveau pont une largeur de

10 m. 90 entre parapets; il est bordé par deux trottoirs de 1 m. 80 de largeur et la voie ferrée est établie dans son axe.

Ce tablier est supporté par les deux arcs construits avec
5 du béton de ciment *non armé*; la largeur — ou l'épaisseur — de chacun d'eux est de 3 m. 03 et ils sont séparés par

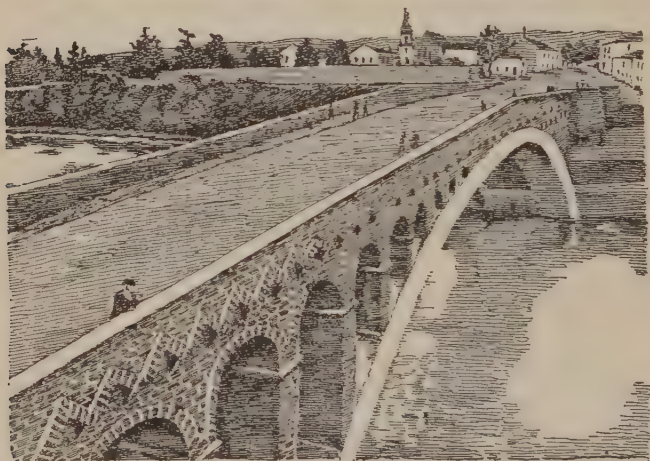


FIG. 45. — LE PONT DE VILLENEUVE-SUR-LOT

un intervalle vide de 4 m. 90. Chacun d'eux constitue une sorte de voûte dont la portée, comptée à la naissance, c'est-à-dire à la base des culées, atteint 98 mètres. A l'étiage
10 — 2 m. 50 environ au-dessus de la naissance — la portée n'est plus que de 96 m. 25 et la flèche de l'arc évaluée à cette hauteur, mesure 14 m. 45.

Nous sommes donc en présence d'un arc surbaissé,
moins cependant que le pont Alexandre III, à Paris, dont
15 la portée est de 109 mètres et la flèche, de 6 m. 28 seule-

ment. L'arc de ce dernier pont est d'ailleurs le plus surbaissé que l'on connaisse.

Les arcs du pont de Villeneuve-sur-Lot ont, à la clé, une hauteur minimum de 1 m. 45, qui augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des appuis où elle atteint 5 4 mètres.

Sur ces arcs s'élèvent verticalement des piles en béton recouvertes d'un parement en briques pour supporter le tablier.

Les culées du pont de Villeneuve-sur-Lot ne présentent 10 aucune particularité qui les distingue des ouvrages similaires exécutés à peu de profondeur sur le rocher. Toutes les faces apparentes de ces constructions sont revêtues de briques que l'on a utilisées pour servir de coffrage pour le coulage du béton.

15

Chaque arc, avons-nous dit, porte des piles de béton, qui servent à leur tour de support au tablier. Elles ont été légèrement armées, et leur épaisseur est inférieure de 3 centimètres à celle de l'arc. A leur partie supérieure, elles sont réunies deux à deux par un viaduc en plein cintre, 20 dont les parements sont construits en briques et supportent les parapets du pont également en briques. De telle sorte que, extérieurement, le nouveau pont paraît entièrement construit en briques, sauf les arcs qui, par leur teinte, accusent le ciment. Entre les piles, dans la partie in- 25 térieure par conséquent, le béton de ciment reprend ses droits sous la forme d'épaisses entretoises, qui supportent des longerons sur lesquels on a constitué un hourdis de 0 m. 25 d'épaisseur.

La chaussée est en macadam sur matelas de sable, avec 30 caniveaux latéraux en béton de ciment pour l'écoulement des eaux.

La partie essentielle de l'ouvrage réside dans la construction des arcs. Quinze rangées de pieux foncés dans le lit de la rivière, à des distances variant de 5 m. 35 à partir de la naissance de la voûte, à 6 m. 35 dans le milieu du cours d'eau, ont permis de soutenir l'échafaudage du cintre. Chaque rangée étant disposée dans le sens du courant, on a pu réduire ainsi au minimum l'encombrement du lit de la rivière. Ce système, qui ne peut être recommandé, en principe, que dans les cas où l'exécution de l'ouvrage doit être menée rapidement, a cependant résisté aux crues du Lot pendant des hivers bien rudes.

Les arcs ont été exécutés par voussoirs, c'est-à-dire par fragments successifs de 6 mètres de longueur chacun et dans toute leur épaisseur. On a employé, pour cela, des coffrages faits de solides panneaux de bois fortement entretoisés. Le coulage de chaque voussoir s'effectuait à l'emplacement même qu'il devait occuper sur l'arc. Quand l'un d'eux était terminé, on passait au suivant, en ayant soin de laisser un espace vide de 0 m. 40 entre eux; ce vide était ensuite maintenu par deux sortes de cales en béton fretté, formant comme une véritable articulation capable de supporter les mouvements verticaux du cintre et empêchant en même temps les voussoirs de glisser vers les culées.

Lorsque tous les voussoirs furent terminés, l'espace vide ménagé entre eux fut rempli par du béton de même composition que celui qui entraît dans leur construction. Ici encore, le pilonnage du béton des voussoirs s'est effectué à l'aide de marteaux pneumatiques agissant sur l'extérieur du coffrage.

Les deux arcs étant achevés et la prise du béton assurée, on procéda aussitôt au décintrement, non d'après la mé-

thode classique qui consiste à abaisser le cintre sous les voûtes, mais, au contraire, en élevant la voûte au-dessus du cintre. Quelques explications de détail sont ici nécessaires.

Le dernier voussoir du cintre côté droit, à la clé, ayant 5 été décoffré dans les conditions normales, son voisin du côté gauche fut coulé en utilisant, pour servir au coffrage, la face du précédent, qui coïncidait avec le plan médian de l'ouvrage. De sorte que les deux blocs de clé de chaque arc, au lieu d'être séparés comme tous les autres par un 10 espace vide de 40 centimètres, étaient accolés, mais non soudés, la surface du bloc de droite ayant été suiffée pour empêcher le béton frais d'y adhérer. En d'autres termes, les deux voussoirs centraux de chaque arc furent coulés l'un contre l'autre, tout en conservant leur indépendance. 15 De sorte que, en fin de construction, les deux arcs se sont trouvés purement et simplement coupés à la clé comme on eût pu le faire avec une scie.

Dans chacune des extrémités ainsi rapprochées des voussoirs, quatre logements avaient été ménagés pour 20 recevoir quatre vérins de 500 tonnes chacun. Au moment voulu, les vérins se sont ainsi trouvés en présence de la coupure pour agir, deux à deux, sur l'extrémité du voussoir opposé. Ces extrémités avaient été constituées, en raison de la pression anormale que chacune était appelée 25 à subir, par un mortier beaucoup plus riche en ciment que celui qui avait servi à couler les autres voussoirs. De plus, ces mêmes extrémités étaient armées d'un quadrillage de barres d'acier de 8 millimètres, qui étaient destinées à s'opposer à leur écrasement par l'expansion du béton dans 30 tous les sens.

Dès le début de l'envoi de l'eau sous pression dans les

vérins, on constata un élargissement du *trait de scie* entre les deux voussoirs, sans soulèvement de l'arc au-dessus du cintre. C'est seulement lorsque la pression atteint 260 tonnes dans chaque vérin, l'ouverture du joint étant
5 alors d'environ 2 centimètres, que le soulèvement de l'arc put être constaté. A ce moment il se produisit une déformation de l'arc qui parut en quelque sorte osciller sur ses points d'appui, alors qu'en réalité l'élasticité seule du béton intervenait pour permettre ce mouvement.

10 La pression de l'eau augmentant peu à peu dans les vérins où elle atteignit finalement 270 tonnes, l'ouverture de la brèche fut alors de 8 centimètres à l'extrados (partie supérieure de l'arc) et de 7 centimètres à l'intrados (partie inférieure). L'arc se trouva alors porté à 9 centimètres
15 environ au-dessus du cintre. Il devint alors nécessaire d'assurer très solidement le maintien de chacun des arcs dans cette position.

On introduisit dans le joint deux plaques faites en mortier riche de ciment, armées d'un double quadrillage
20 de fils métalliques à mailles serrées. Ces plaques avaient 5 centimètres d'épaisseur; elles furent disposées l'une au-dessus de l'autre entre les vérins et recouvertes, sur chacune de leurs faces, d'un enduit frais de pâte de ciment pur de 3 millimètres d'épaisseur. Aussitôt mises en place,
25 on laissa s'écouler lentement l'eau des vérins; les arcs, tendant à reprendre leur position primitive, se rapprochèrent peu à peu et leurs extrémités se soudèrent par le joint de ciment introduit. A ce moment, l'écartement uniforme sur toute la hauteur de l'arc était de 53 milli-
30 mètres environ et le soulèvement au-dessus du cintre se trouvait réduit à 5 centimètres.

Les vérins ayant été enlevés, leurs logements furent

remplis complètement par un béton riche fortement damé.

Ce procédé, extrêmement simple et original, a permis un allongement artificiel de 53 millimètres de l'arc, allongement capable de compenser le raccourcissement de l'arc pendant sa construction, que l'on ne peut éviter, un 5 léger recul des appuis et une fraction de retrait qui fut estimée égale à quatre dix-millièmes de la longueur de l'arc.

Les deux arcs du pont, privés de leurs cintres aussitôt 10 démolis, restèrent suspendus au-dessus de la rivière pendant quatre années, sans aucun entretoisement et sans manifester la moindre lassitude, supportant même plusieurs crues violentes. Le service des ponts et chaussées ayant fait procéder à une série d'observations sur les 15 mouvements des arcs, et profitant de ce long abandon aussi bien à la pluie qu'à l'action du soleil, constata que l'ensoleillement alternatif des deux faces de chaque arc avait pour effet de provoquer la formation, à la clé, de très légers mouvements horizontaux et verticaux et même 20 des torsions, d'ailleurs à peine perceptibles.

L'achèvement de l'ouvrage ne pouvait donner lieu à aucune difficulté. On termina d'abord la construction de la culée de la rive gauche. Puis le tablier fut exécuté à son tour, sans recourir au moindre échafaudage; les arcs 25 seuls servaient de points d'appui. On établit sur chacun d'eux une passerelle, à la hauteur du tablier, qui fut utilisée pour élever les piliers depuis les grands arcs jusqu'à la naissance des arcs décoratifs extérieurs en briques construits sur ces piliers. Ceux-ci supportent les 30 entretoises transversales qui forment les assises du tablier.

Le tablier et les entretoises sont en ciment armé. Ils

ont été coulés à l'aide de coffrages en bois d'après les procédés ordinaires.

Les deux arcs de cet ouvrage sont les plus longs qui aient été construits jusqu'ici en ciment non armé, avons-
5 nous dit.

Les constructions en ciment, armé ou non, prennent peu à peu plus de hardiesse en s'enrichissant de procédés nouveaux, qui facilitent singulièrement, ainsi que nous venons de le voir, la mise en œuvre d'un matériel de
10 plus en plus réduit.

Et nous sommes bien loin des anciens ponts de pierre en dos d'âne que l'on peut voir encore en de nombreux points de notre pays, auxquels ils donnent, d'ailleurs, un aspect des plus pittoresque.

La Science et la Vie, Paris

XXXII. Le Métropolitain de Paris

15 **Plan général du réseau.** — Lorsque au début de 1896, le Conseil municipal se préoccupait de déterminer le programme du futur réseau métropolitain, il s'en fallait de beaucoup que l'œuvre qu'on allait entreprendre rencontrât une approbation unanime. Si certains se montraient
20 franchement optimistes, d'autres prédisaient un échec certain. D'aucuns affirmaient que la construction de 65 km. de souterrain dans Paris constituait une entreprise chimérique qu'il était pratiquement impossible de mener à bien sans dommages pour les immeubles riverains, sans
25 entraves inadmissibles pour la circulation. D'autres soutenaient que l'œuvre ne pourrait être réalisée sans une formidable augmentation de la dépense prévue; ils pen-

saient que le public se montrerait indifférent et que les recettes de l'exploitation seraient impuissantes à faire face aux charges financières. Ces préoccupations avaient pénétré jusqu'au Conseil municipal; aussi, dans la convention de concession inséra-t-on une clause aux termes de laquelle la Ville ne s'engageait à construire que les trois premières lignes et se réservait la faculté, pour les lignes suivantes, de renoncer à l'exécution des fractions dont la construction ne serait pas engagée dans un délai déterminé. 5

Cependant, dès 1898, les ingénieurs municipaux avaient entrepris l'étude des projets d'exécution de la première ligne ainsi que du tronçon de la ligne n° 2 compris entre la place de l'Étoile et le Trocadéro; quelques mois après, ces projets étaient dressés. Les travaux commencés à la fin de 1898 furent menés rapidement sans dommages pour les immeubles, sans entraves sérieuses pour la circulation. Le 19 juillet 1900, la ligne de la porte de Vincennes à la porte Maillot était ouverte au public sur toute sa longueur. 15

Dès l'ouverture de cette ligne, le Métropolitain conquît la faveur du public: les craintes que certains avaient eues de voir les Parisiens hésiter à descendre dans le souterrain ne se réalisèrent pas. Dès les premiers jours, malgré les à-coups tout naturels d'un nouveau mode de transport encore à ses débuts, l'affluence fut considérable; par la suite, elle ne fit que croître. En présence d'un tel succès, la Ville de Paris crut devoir rechercher les moyens de parachever l'œuvre entreprise par la construction de lignes nouvelles. 25

Gabarit du Métropolitain. — La longue lutte que le Conseil municipal de Paris avait soutenue contre le Gouvernement pour s'assurer la possession exclusive du Métro- 30

- politain l'avait rendu soupçonneux à l'extrême: il craignait toujours un retour offensif des grandes Compagnies. Aussi, pour la rédaction du projet de 1896, avait-il décidé que le chemin de fer serait construit à la voie étroite d'un
- 5 mètre de largeur. Cette décision, il faut bien le dire, prêtait fortement à la critique. Si elle assurait l'indépendance absolue du réseau urbain, tout en diminuant les dépenses, elle réduisait singulièrement la capacité de transport du chemin de fer: il y avait là un danger grave
- 10 pour l'avenir de l'entreprise. Un premier pas vers une solution plus rationnelle fut fait à la demande du futur concessionnaire: le Conseil décida que la largeur de la voie serait portée à 1,30 m. et celle des voitures à 2,10 m.; avec ces données, le raccordement rail à rail avec les grands
- 15 réseaux restait toujours impossible. Mais le Parlement n'adopta pas cette disposition encore trop radicale; la loi du 30 mars 1898 prescrivit, pour la voie, la largeur normale de 1,44 m. et, pour le gabarit du matériel roulant, la largeur de 2,40 m. Toutefois elle admit que les dimen-
- 20 sions des ouvrages fussent calculées de façon à épouser ce gabarit de façon étroite en ne réservant entre les parois intérieures et les parties les plus saillantes des voitures qu'un intervalle de 0,70 m. régnant jusqu'à 2 m. de hauteur au-dessus du rail.
- 25 L'écartement normal de 1,44 m. permettrait au matériel du Métropolitain de circuler sur les voies des grandes Compagnies; mais les dimensions des ouvrages ne permettent pas pratiquement la réciprocité, de sorte que la loi sauvegarde entièrement l'autonomie du réseau urbain.
- 30 Le Parlement a d'ailleurs réservé aux grandes Compagnies la possibilité de se raccorder directement à l'intérieur de la capitale par des voies indépendantes du

Métropolitain: la loi du 30 mars 1898 prescrit que la construction du Métropolitain devra laisser réalisables, au point de vue technique, cette pénétration des grandes lignes et leurs raccordements dans Paris. Cette obligation n'est pas sans compliquer parfois, de façon sensible, l'étude 5 des lignes urbaines: l'exemple le plus récent est le tracé tourmenté qu'il a fallu adopter pour le prolongement de la ligne sous la place et le quai de l'Hôtel-de-Ville et sous le quai des Célestins en vue de réserver la possibilité d'un raccordement éventuel Nord-P.-L.-M. 10

Données fondamentales sur lesquelles est établi le Métropolitain. — La Commission technique qui, en 1872, formula pour la première fois, d'une façon précise, les données essentielles du réseau urbain parisien s'était visiblement inspirée de l'exemple de Londres. A cette 15 époque, Londres possédait un chemin de fer analogue à notre chemin de fer de Ceinture, — le « Metropolitan and District Railway » —, avec cette différence qu'il dessert des centres beaucoup plus peuplés. Dans ces dernières années, les ingénieurs anglais ont abordé la construction 20 d'une série de lignes électriques souterraines dites « tube railways », dont la plus ancienne est le « City and South London Railway ».

Ces tubes sont établis dans des souterrains circulaires qui reçoivent un revêtement en fonte; chaque voie a son 25 tube séparé dont le profil enveloppe aussi étroitement que possible le gabarit des voitures, et les souterrains sont construits à grande profondeur au-dessous du sol. Une section plus large est adoptée pour les stations auxquelles on accède par des ascenseurs installés dans des puits 30 verticaux à revêtement métallique. Ce mode de construction est excellent lorsqu'il s'agit d'établir la voie ferrée

dans des terrains mouillés, à la traversée du lit d'un fleuve, par exemple, et c'est d'ailleurs dans ces conditions qu'il a reçu sa première application en Angleterre. Mais si le terrain à traverser n'est pas mouillé et présente une
5 cohésion suffisante — comme c'est le cas général à Londres, — la solution ne se justifie guère. Le revêtement en fonte est alors parfaitement inutile; son emploi entraîne un surcroît de dépenses qui grève sans utilité le capital de premier établissement. Les souterrains jumeaux, dans
10 lesquels les voies et les stations sont isolées, sont une gêne constante pour l'exploitation. L'établissement des souterrains à grande profondeur donne lieu à des difficultés d'accès qui se traduisent par une perte de temps pour le public, par une dépense élevée pour l'exploitant; il peut
15 entraîner des désordres graves dans les immeubles voisins, soit en cas d'accident pendant la construction, soit encore pendant l'exploitation, en raison de la propagation, par le terrain ambiant, des chocs et des vibrations dus au passage des trains.

20 Tous ces inconvénients, révélés par l'exemple de Londres, se seraient évidemment présentés à Paris si l'on avait appliqué le même système, avec cette circonstance aggravante qu'en nombre de points, le sous-sol parisien étant mouillé par des nappes souterraines, le travail à
25 grande profondeur eût été rendu plus difficile, plus dangereux et plus onéreux. Aussi, les ingénieurs de la ville de Paris ont-ils adopté une solution tout à fait différente qui peut se définir par les caractéristiques suivantes: prescription absolue des tubes à revêtement métallique, sauf
30 à la traversée du lit de la Seine; adoption d'un souterrain maçonné à double voie; maintien du tracé aussi près que possible de la surface du sol.

Les avantages de cette conception, — économie dans la construction, facilité d'exploitation, commodité d'accès, — sont évidemment la contre-partie des inconvénients que je viens de signaler pour les tubes anglais. On pourrait, il est vrai, reprocher à la solution adoptée à Paris, de 5 nécessiter le remaniement des canalisations souterraines qui se trouvent nombreuses dans le sous-sol des voies publiques; mais dans la pratique, il a toujours été possible de rétablir ces canalisations sans difficulté sérieuse, et la dépense, bien qu'assez importante, n'est pas com- 10 parable au surcroît de frais que le tube occasionne en pure perte. Et à ce propos, je tiens à vous dire qu'on exagère souvent les frais qu'entraînent ces remaniements de canalisations. On a été jusqu'à prétendre qu'ils attei- gnaient 50 p. 100 de la dépense totale. En réalité, pour 15 la ligne n° 1 qui a coûté 40 millions, les déviations de canalisations, les réfections de chaussées et de voies de tramway se sont élevées ensemble à 8 300 000 fr., soit 21 p. 100 de la dépense totale. Pour la ligne n° 4, cette proportion a atteint 23 p. 100; elle s'est abaissée à 14 p. 20 100 pour la ligne n° 7. Ce ne sont pas là des dépenses excessives. En tout cas, elles ne peuvent être mises en balance avec les avantages procurés.

Les ingénieurs spéciaux s'accordent presque unanimement aujourd'hui à donner la préférence à la solution 25 qui a été adoptée à Paris. Les *Subways* de New-York, de Boston, et de Philadelphie sont construits à faible profondeur, comme notre Métropolitain. Un argument typique en faveur du tracé à fleur de sol peut être également tiré des dispositions finalement adoptées pour la 30 construction dans Paris du Chemin de fer Nord-Sud concédé en 1903 à MM. Berlier et Janicot. L'avant-projet

comportait un tracé à grande profondeur, sur le modèle des tubes de Londres; le premier soin de la Société chargée de la construction et de l'exploitation a été de remonter le tracé au voisinage immédiat du sol, dans les mêmes
5 conditions que le réseau municipal. On peut donc dire que le Métropolitain de Paris est établi sur les données générales qui, à l'heure actuelle, sont considérées comme étant à la fois les plus pratiques et les plus rationnelles.

Dispositions générales des ouvrages du Métropolitain.

10 — Sur presque tout son parcours, le Métropolitain est souterrain; l'ensemble des parties aériennes ne représente guère que 6,8 p. 100 de la longueur totale des lignes. Le réseau urbain est établi sur ou sous la voie publique; ce n'est que dans des cas exceptionnels, et toujours pour des
15 parcours extrêmement limités, qu'il pénètre dans le tréfonds des immeubles riverains. En raison des sujétions de toute nature qui résultent de cette disposition, le tracé des lignes a dû se soumettre à une flexibilité beaucoup plus grande que celle des grands réseaux; aussi les déclivités
20 atteignent-elles jusqu'à 40 mm. par mètre, alors que sur les grandes lignes elles ne dépassent guère 20 mm.; quant au rayon des courbes, il s'abaisse jusqu'à 75 m., voire même, exceptionnellement il est vrai, jusqu'à 50 m., tandis que sur les grands réseaux le rayon de courbure
25 descend rarement au-dessous de 300 m.

Le profil normal du souterrain à deux voies est constitué par une voûte elliptique de 7,10 m. d'ouverture et de 2,07 m. de montée reposant sur les deux piédroits latéraux; la section est complétée par l'arc concave du radier. La
30 hauteur totale de l'ouvrage dans œuvre est de 5,20 m.; le niveau du rail se trouve à 4,50 m. au-dessous de l'intrados à la clef et à 70 cm. au-dessus du fond du radier.

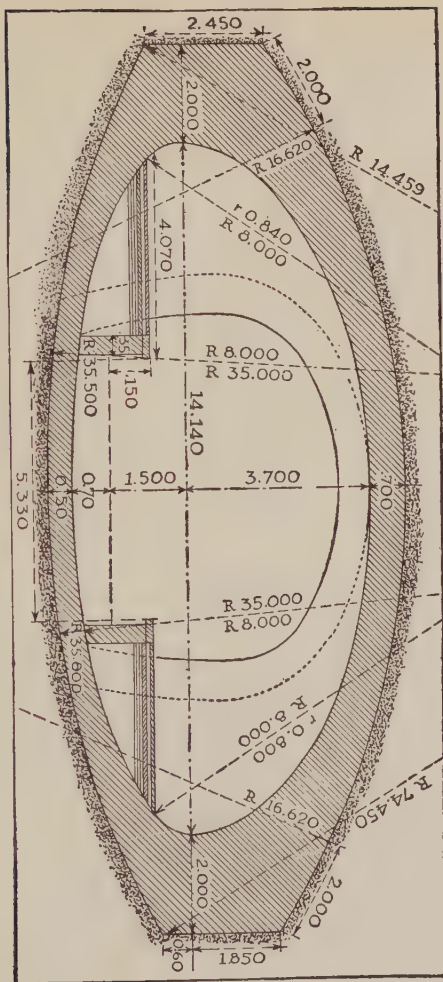


FIG. 46. — TYPE DES OUVRAGES COURANTS: STATION VOUTÉE

La voûte a 70 cm. d'épaisseur à la clef, les piédroits ont 75 cm., le radier de 40 à 50 cm. L'application de ces dispositions suppose que la distance du rail au sol descend à 6 m. environ. Quand cette condition ne peut être
5 réalisée, on a recours à l'emploi d'un tablier métallique porté sur piédroits en maçonnerie, véritable plancher composé de poutres en acier que réunissent des voûte-
lettes en briques, et combiné de façon à réserver au moins 3,50 m. de hauteur libre au-dessus du rail.

- 10 Les stations souterraines sont voûtées, lorsqu'il y a au moins 7 m. de distance entre le rail et la surface du sol; elles sont couvertes d'un tablier métallique lorsque cette hauteur n'est pas disponible. La section des stations voûtées (fig. 46) est formée de deux demi-ellipses ayant
15 un grand axe commun de 14,14 m. de longueur établi à 1,50 m. au-dessus du rail: l'une de ces ellipses forme la voûte, l'autre, le radier; le petit axe est de 3,70 m. pour la première et de 2,20 m. pour la seconde, ce qui porte la hauteur totale libre à 5,90 m. La voûte a 70 cm. d'épais-
20 seur à la clef, le radier, 50 cm., les culées, 2 m. Les stations à tablier métallique ont 13,50 m. de largeur dans œuvre. Le tablier repose sur des piédroits de 1,50 m. de largeur réunis à leur base par un radier concave de 50 cm. d'épais-
25 Celles-ci, à âmes pleines et jumelées, ont 1,02 m. de hauteur; elles sont réunies par des longerons qui forment retombées pour de petites voûtes en briques.

Chaque station comprend deux quais latéraux de 75 m. de longueur et 4,10 m. de largeur, dont le niveau un peu
30 inférieur à celui du plancher des voitures se trouve à 85 cm. au-dessus du rail.

On accède aux stations par un escalier débouchant sur

la voie publique. Dans le cas ordinaire, cet escalier dont la largeur est ordinairement voisine de 3,50 m., conduit à une salle souterraine où l'on distribue les billets; de cette salle on atteint le quai le plus proche par un autre escalier large de 2,75 m., et l'on arrive à l'autre quai par un escalier semblable après avoir franchi la voûte du chemin de fer au moyen d'une passerelle de 3 m. de largeur.

Dans les parties aériennes du tracé, les voies sont supportées par un viaduc métallique formé d'une suite de travées indépendantes de portées variables, et qui sont composées de deux poutres de rive soutenant le tablier à leur partie inférieure. Ces travées prennent appui sur des colonnes en fonte et exceptionnellement sur des piliers en maçonnerie dont les dimensions ont été réduites autant que possible. L'ouverture des travées est commandée en certains points par les conditions locales; là où cette sujétion n'existe pas, c'est une ouverture voisine de 22 m. qui satisfait le plus commodément aux données de la construction. Des portées plus grandes ont dû être adoptées à la traversée de voies importantes ou de chemins de fer; c'est ainsi que le passage de la Circulaire Nord sur les chemins de fer du Nord et de l'Est a nécessité la construction de trois travées de 75,25 m. d'ouverture.

Dans le cas le plus général, la voie est ballastée sur les viaducs, et le ballast est soutenu par des voûtelettes en briques qui réunissent les unes aux autres les entretoises du tablier. Cette disposition a été adoptée en vue de diminuer les vibrations au passage des trains et d'atténuer, dans la mesure du possible, le bruit et les trépidations qui en résultent. Toutefois, dans les viaducs de grande portée,

on a supprimé le ballast pour éviter un surcroît de poids et une dépense exagérée; la voie est alors placée directement sur le tablier constitué par des entretoises réunies par des longerons que recouvre un platelage métallique.

5 Dans les parties aériennes, le rail a été placé à 6,36 m. au moins, au-dessus des voies charretières, cette distance correspondant à une hauteur libre de 5,20 m. sous les poutres. Cette hauteur libre de 5,20 m. est suffisante pour le passage des plus hauts chargements qui circulent
10 dans Paris.

Les stations aériennes sont conçues sur le même type que les viaducs; elles renferment, comme les stations souterraines, deux quais de 75 m. de longueur et de 4,10 m. de largeur. Sur la ligne circulaire Nord, chaque quai est
15 couvert par une toiture en fer et vitrage. Cette disposition ne protégeait pas suffisamment les voyageurs contre les intempéries; de plus, elle était assez coûteuse. Sur la ligne Sud, la toiture a été étendue à toute la surface de la station, voies et quais compris. Les accès comportent
20 encore ici une salle de distribution des billets reliée à chacun des quais par un escalier latéral. Sur la ligne Circulaire-Nord, la salle des billets est établie sur un palier placé à mi-distance entre le sol et les quais; sur la ligne Circulaire-Sud et sur la ligne n° 6, la salle de billets se
25 trouve de plain-pied avec la voie publique.

Les maçonneries du Métropolitain sont, d'une façon presque exclusive, exécutées au mortier de ciment; on obtient ainsi, en même temps qu'une prise plus rapide, une résistance plus grande pour une même épaisseur, ce
30 qui se traduit finalement par une économie. En souterrain, on utilise deux sortes de maçonnerie: la maçonnerie de meulière et le béton; la meulière est employée pour la

confection des voûtes; le béton sert à exécuter les piédroits et les radiers.

A l'intérieur des stations, tous les parements visibles sont uniformément revêtus de carreaux blancs en grès cérame émaillé; d'autres revêtements essayés au début, 5 comme l'opaline, ont donné de mauvais résultats et ont été abandonnés. Dans les autres ouvrages, les parements reçoivent un simple enduit en mortier de ciment.

Tous les ouvrages métalliques sont en acier doux laminé. 10

Relations entre les lignes métropolitaines; bifurcations.

— En règle générale, les lignes métropolitaines ont leur existence propre; elles ne s'embranchent pas les unes sur les autres; aux points de contact, les voyageurs changent de voiture. Ce système donne plus de régularité à l'ex- 15 ploitation et permet de desservir chaque ligne d'une façon plus intense. Il supprime d'ailleurs une cause d'accidents; les collisions aux bifurcations qui sont d'autant plus à redouter que le nombre de trains est plus grand. On lui reproche d'accroître la fatigue des voyageurs et de causer 20 une perte de temps appréciable: l'inconvénient n'est pas niable, encore qu'il ne faille pas l'exagérer. En tout cas la sécurité et la régularité de l'exploitation doivent l'emporter sur ces légères inconvénients.

Dans l'étude du réseau, on s'est astreint à respecter cette 25 autonomie des lignes métropolitaines. Seulement, il n'a pas toujours été possible de se conformer à la règle; on a dû se plier aux circonstances. Toutefois, on ne trouve jusqu'ici, sur les lignes construites, que deux dérogations au principe de l'autonomie; la première se présente à la 30 séparation de deux lignes à la « Rue Louis-Blanc »; la seconde se rencontre à la station « La Motte-Picquet-

Grenelle ». Dans les deux cas, les conditions locales imposaient la bifurcation en pleine voie; pour limiter au minimum les causes d'accident, on a établi la bifurcation dans une station. Les trains qui s'éloignent du tronc commun abordent au même quai et l'aiguille est placée immédiatement après ce quai dans le sens de la marche. Au contraire, les trains qui vont s'engager sur le tronc commun, viennent se ranger dans la station sur deux voies séparées longées par deux quais distincts: ce n'est qu'au
10 sortir de la station (où tous les trains sont tenus de s'arrêter) que les deux voies se rejoignent. Bien entendu, aux abords de la station, les souterrains qui se croisent sont disposés en saut de mouton de façon à éviter les traversées de voie à niveau.

15 **Terminus.** — Les trains circulant à des intervalles très rapprochés, il importe de réduire au minimum les pertes de temps aux terminus. D'une façon générale, on a résolu le problème en établissant aux extrémités de la ligne une boucle d'évitement qui permet aux trains de passer directement de l'arrivée au départ. Les conditions d'installation
20 de cette boucle varient suivant la disposition des lieux. Tantôt, on a établi aux terminus deux stations distinctes, l'une pour l'arrivée, l'autre pour le départ et ces stations ont été réunies par un souterrain en courbe de faible rayon. D'autres fois, comme à la place de l'Étoile, on a fait
25 décrire à la voie ferrée un cercle aussi grand que possible et sur le parcours de ce cercle on a placé la station finale.

Une autre disposition, toute différente, a été réalisée au « Palais-Royal », et à l'« Opéra ». Là, immédiatement
30 après la station, la voie d'arrivée vient rejoindre par une bretelle la voie de départ et, au delà de l'aiguille, se trouve un tiroir suffisamment étendu pour recevoir un train. Le

long de ce tiroir, un petit trottoir a été établi contre le piédroit au niveau du plancher des voitures. En utilisant ce petit trottoir, le wattman peut passer aisément d'une extrémité à l'autre du convoi, et le stationnement ne se prolonge que quelques instants. Cette disposition avait 5 déjà été adoptée sur le chemin de fer Nord-Sud; c'est celle qui est appliquée en grand au terminus construit à la « Porte de Saint-Cloud » pour la ligne de la porte de Saint-Cloud au Trocadéro.

L. BIETTE : *Le Métropolitain de Paris*, Librairie de l'Enseignement technique, Paris

CHOSSES DIVERSES

XXXIII. Le Pavillon Curie de l'Institut du Radium

Le Conseil municipal de Paris a acheté deux grammes de radium au prix de 1 800 000 francs; il fut immédiatement décidé de confier la garde de la rarissime substance à l'Institut du Radium, centre d'études physiques et biologiques des plus importants quoique presque ignoré du public. Une telle libéralité s'explique aisément, car les effets curatifs déjà obtenus par les substances radioactives (radium, émanation de radium et mésothorium) laissent entrevoir d'encourageantes perspectives pour le soulagement des misères humaines et, en particulier, la guérison du cancer, dans un avenir prochain.

Malheureusement, la *curiethérapie*, c'est-à-dire l'utilisation de foyers de rayonnement constitués par des ampoules radioactives maintenues, durant un temps déterminé, à proximité de tumeurs cancéreuses, n'était pas, jusqu'ici, à la portée des praticiens français, même les plus fortunés. Dorénavant, l'Institut du Radium pourra mettre à la disposition du corps médical des tubes d'*émanation de radium*, d'une efficacité thérapeutique égale et dont l'emploi permettra de laisser la substance-mère, le radium (pratiquement inusable) dans l'armoire blindée du magnifique laboratoire de la rue Pierre-Curie, qui conservera cet inestimable capital à l'abri de tous risques.

Ainsi Paris, la ville où Pierre Curie fit sa mémorable

découverte, qu'exploitent maintenant les radiumthérapeutes allemands, anglais et américains, ne se trouvera plus en état d'infériorité. Du reste, avant la guerre, presque tout le radium fabriqué en France s'exportait à l'étranger d'où, maintenant, nous devons en rapatrier, à poids d'or, 5 d'infinitésimales parcelles !

Actuellement, l'*Institut du Radium* est entretenu à frais communs par l'Université de Paris et l'Institut Pasteur.



MME MARIE CURIE

Il comprend deux laboratoires autonomes mais 10 travaillant en collaboration étroite. L'un, le Pavillon Curie, rattaché à la chaire de physique générale de la Faculté 15 des Sciences, s'occupe plus spécialement du côté scientifique pur et son directeur est Mme Curie, tandis que dans le 20 second laboratoire ou Pavillon Pasteur, à la

tête duquel se trouve le Dr. Regaud, on étudie surtout les applications biologiques et médicales. Entre ces deux édifices, s'élève un petit bâtiment intermédiaire dans 25 lequel s'effectuent les manipulations, très délicates, des matières radioactives.

Ces diverses constructions, à peine achevées en août 1914, restèrent hermétiquement closes pendant toute la durée de la guerre et le véritable fonctionnement des deux 30 services de l'Institut du Radium date du mois d'avril 1919.

Entrons dans le Pavillon Curie, pour visiter le service

d'*étalonnage des ampoules*. Savants et médecins ont, en effet, besoin de connaître en valeur absolue la quantité de radium contenue dans chaque tube radioactif dont ils se servent soit pour des expériences, soit pour des applications médicales. Pour effectuer ces mesures, on s'adresse à une méthode indiquée par Pierre Curie et qui comporte essentiellement trois appareils: un condensateur à plateaux, un quartz piezo-électrique et un électromètre. Au moyen d'une batterie de petits accumulateurs on porte le plateau inférieur du condensateur à un potentiel élevé et on relie le plateau supérieur avec le quartz et l'électromètre. On sait que, normalement, il ne passe aucun courant entre les deux plateaux d'un condensateur tandis que, au voisinage d'un sel de radium, l'air séparant les deux armatures devient bon conducteur et livre passage à l'électricité. On met alors à profit ce courant pour faire dévier l'aiguille de l'électromètre et on contrebalance cette déviation par le courant égal et contraire que donne le quartz piezo-électrique. Ce courant compensateur, immédiatement mesurable à l'aide d'un chronomètre et de poids marqués, fournit, après étalonnage de l'instrument avec un sel d'activité connue, la mesure de la radioactivité cherchée. Pour apprécier la valeur des *ampoules d'émanation*, préparées à l'Institut du Radium à raison de vingt-quatre par jour en moyenne, on se sert également de l'électroscope. L'opérateur tient dans sa main un chronomètre qui lui permet d'évaluer le temps avec précision.

Mais pour manipuler ces ampoules d'émanation (en raison des effets encore peu connus que les substances radifères ont sur l'organisme humain), le personnel doit employer des tables spéciales. Ces meubles sont tout en chêne et on a intercalé horizontalement et verticalement

entre les planches de bois des lames de plomb afin d'arrêter les terribles rayons au cours des manipulations.

Dans les *laboratoires de chimie*, nous pourrions assister à toutes les opérations longues et délicates, les fractionnements et cristallisations répétées que nécessite la préparation des substances radioactives (radium, polonium, actinium, uranium, thorium, etc.).

La salle de l'extraction de l'*émanation de radium* est la plus extraordinaire de l'Institut. C'est ici que se trouve une armoire, aux parois blindées de plomb, dans laquelle se conservent les composés de radium. Généralement, on conserve l'émanation de radium dans des bouteilles Dewar. C'est ce qui explique qu'à l'Institut du Radium, on ait besoin d'une machine à air liquide. On a dû installer cette dernière dans les sous-sols de l'établissement afin d'économiser la place.

Qu'est-ce donc au juste que l'*émanation de radium*, presque seule utilisée aujourd'hui dans nombre d'expériences scientifiques poursuivies journellement au Pavillon Curie? Supposons, avec Fr. Soddy, qu'après avoir dissous dans l'eau un échantillon de radium, on évapore la solution à sec pour obtenir de nouveau le composé solide, on constate, non sans quelque étonnement, que la plus grande partie de la radioactivité de la substance a disparu. On ne trouve plus la moindre trace des rayons pénétrants β et γ , tandis que les rayons non pénétrants α ont subi une réduction du quart de leur intensité initiale. Mais, chose étrange, le mystère ne s'arrête pas là. Si on abandonne le radium à lui-même pendant un certain temps, il récupère petit à petit son activité, si bien qu'au bout d'un mois environ, il redevient aussi radioactif qu'au début de l'opération. *A priori*, cet étrange phénomène semble en

contradiction flagrante avec le fait admis jusqu'alors par tous les physiciens, à savoir qu'aucune action connue ne paraît influencer la radioactivité du radium. Mais en analysant de plus près l'expérience, on s'aperçoit qu'au
5 cours de la dissolution du radium dans l'eau, il s'échappe dans l'air un nouveau gaz extraordinairement radioactif qu'on peut, du reste, enfermer dans un vase clos et que le professeur Rutherford appelle l'*émanation de radium*.

Dans les cours qu'elle fait, chaque année, dans l'am-
10 phithéâtre de l'Institut du Radium, Mme Curie répète les plus jolies expériences, devenues classiques, sur les divers corps radioactifs et, en particulier, sur cette mystérieuse émanation. Nous en rappellerons ici deux ou trois, afin de donner une idée de la nouveauté d'un tel enseignement.
15 D'une solution de bromure de radium conservée en vase clos dans l'armoire aux parois blindées, elle extrait l'émanation qu'elle enferme, mélangée avec de l'air, dans un petit tube de verre muni de robinets. Puis elle dispose à l'intérieur du récipient plusieurs fragments de willémite ou
20 silicate de zinc. Ce minéral gris-verdâtre jouit de la propriété de devenir fluorescent sous l'action des rayons X et du rayonnement du radium, en émettant une brillante lumière de teinte verte. Ainsi Mme Curie, après avoir fait l'obscurité dans la salle, montre le tube contenant
25 l'émanation, et la willémite brille alors d'un vif éclat. Ce spectacle est véritablement admirable, et si l'on réfléchit, comme l'écrit Soddy, « à la cause de cette lumière ainsi qu'à tout ce que ce phénomène symbolise pour l'humanité, on éprouve des sentiments que seul un poète pourrait
30 exactement traduire ».

D'autres expériences, faites dans le laboratoire de l'Institut du Radium, ont confirmé que l'émanation, in-

tensivement radioactive par elle-même, comme nous l'avons dit plus haut, émettait des rayons X très semblables en eux-mêmes à ceux produits par les autres corps radioactifs, mais ne dégageait pas de rayons β et γ , — tout au moins si on considère un tube contenant de l'émanation 5 de radium depuis quelques heures seulement.

En outre, l'émanation est un véritable gaz et non une forme solide de la matière dispersée dans l'air comme des particules et extraordinairement ténue. Pour vérifier l'hypothèse, on se sert, à l'Institut du Radium, de la 10 machine à air liquide. Si l'émanation est un gaz, sa condensation doit s'opérer au moins à de très basses températures et, effectivement, elle se condense au-dessous de -150° ; elle se volatilise pour revenir brusquement à l'état gazeux quand la température se relève au-dessus 15 de ce point. D'ordinaire, on dispose l'expérience de la manière suivante. A l'une des tubulures du récipient renfermant l'émanation de radium, on adapte une poire soufflante en caoutchouc, puis on relie l'autre extrémité du vase à un tube de verre en forme d'U, contenant quelques morceaux de willémité et immergé dans l'air liquide 20 à -183° environ. On souffle alors dans ce tube d'émanation qui, sous l'action du froid extrême, perd immédiatement sa forme gazeuse pour se condenser. Au moment où l'expérimentateur envoie un léger courant d'air pour 25 balayer l'émanation vers le tube en U, la willémité devient aussitôt très lumineuse aux points de condensation de l'émanation de radium. Tant qu'on maintient le tube en U dans l'air liquide, l'émanation demeure au même endroit si on continue à souffler un faible courant d'air 30 dans l'appareil, mais, peu d'instant après avoir retiré le tube de l'air liquide, il se réchauffe petit à petit et quand il

atteint -150° , une légère insufflation d'air au moyen de la poire en caoutchouc suffit pour chasser l'émanation de radium qui a repris l'état gazeux qu'elle avait primitivement.

5 D'autre part, en soumettant l'émanation à la plus énergique action chimique, elle reste impassible, ce qui la rapproche des gaz de la famille de l'argon.

Mais ces hautes spéculations scientifiques sont encore dans un domaine plein de mystères. Si nous voulions
10 décrire tous les travaux de ce genre qui se poursuivent quotidiennement à l'Institut du Radium, il nous faudrait passer en revue les relations entre l'hélium et les éléments radioactifs, entre le radium et l'uranium, étudier les séries de désintégration du thorium et de l'actinium, exposer les
15 transformations successives du radium et pousser nos investigations jusqu'à la structure intime de l'atome.

La Science et la Vie, Paris

XXXIV. La Cinématographie en Couleurs naturelles par les Procédés trichromes

La cinématographie en couleurs naturelles ou chromocinématographie a, depuis l'apparition du cinématographe et de la trichromie, suscité des recherches extrêmement
20 nombreuses; mais les solutions vraiment pratiques de ce problème si séduisant sont toutes récentes.

Avant d'entrer dans le détail des procédés qui permettent de réaliser pratiquement la cinématographie des couleurs et pour la bonne compréhension des moyens em-
25 ployés pour cela, nous croyons utile de rappeler, en quel-

ques mots, comment on peut arriver à rendre, photographiquement, toutes les couleurs de la nature sans l'intervention d'un procédé de peinture ou de coloriage artificiel des images représentatives des objets.

Toutes les couleurs que la nature nous permet de percevoir 5
peuvent se décomposer en trois couleurs fondamentales convenablement choisies, qui peuvent être, par exemple, le bleu, le rouge et le vert.

Réciproquement, on peut reconstituer toutes les couleurs au moyen de ces trois teintes fondamentales. Selon 10
le joli mot de Ducos du Hauron, qui, le premier, a posé les bases de la reproduction photographique et photomécanique des couleurs au moyen de couleurs fondamentales: « trois notes suffisent pour l'orchestration complète de la couleur. » 15

Dans les procédés de trichromie (emploi de trois couleurs) on distingue deux opérations principales qui sont:

1° L'*analyse* des couleurs en trois teintes fondamentales (sélection trichrome); 20

2° la *synthèse* des couleurs au moyen des trois images sélectionnées.

L'analyse ou la sélection des couleurs peut être effectuée au moyen d'un jeu de trois écrans transparents, différemment colorés et de couleurs convenables, qui agissent 25
comme des *filtres de lumière* (écran bleu, écran rouge, écran vert).

L'écran bleu, par exemple, arrête toutes les radiations du spectre, les radiations bleues exceptées. C'est, d'ailleurs, pourquoi cet écran, par transparence, paraît bleu à 30
notre œil, car il ne laisse passer que les radiations bleues contenues dans la lumière qui le frappe vivement; l'écran

transparent rouge ne laisse passer que les radiations rouges, etc. . . .

Par conséquent, si, dans le trajet des rayons lumineux, traversant un appareil photographique, nous interposons
5 un écran transparent bleu, l'émulsion sensible n'est impressionnée que par les radiations bleues que contient la lumière transmise par l'objet à photographier. Si nous remplaçons l'écran bleu par un semblable écran mais rouge, nous pouvons obtenir un deuxième négatif impres-
10 sionné seulement par des rayons rouges. Il sera, de même, possible d'avoir une troisième image formée uniquement par des rayons verts en employant, cette fois, un écran transparent de couleur verte.

On conçoit facilement que chacun des trois négatifs soit
15 incomplet quant aux valeurs correspondant aux teintes du sujet. Ainsi, en prenant l'exemple, tout à fait schématique, d'une fleur rouge à tige et à feuilles vertes, supportée par un bouquetier bleu (fig. 47), le négatif exécuté sous l'écran rouge n'a guère été impressionné que par les rayons
20 rouges transmis par les pétales de la fleur, car les rayons verts et bleus, transmis par la tige, les feuilles et le bouquetier ont été arrêtés par le filtre de lumière (l'écran) qui est rouge. Au contraire, l'image des feuilles et de la tige présente un maximum de valeur dans le négatif exé-
25 cuté sous l'écran vert. De même, l'image obtenue à travers le filtre bleu fournit la plus grande intensité pour l'image du bouquetier bleu. Par suite, pour réaliser les sélections trichromes, il est nécessaire d'employer des émulsions photographiques sensibles à toutes les couleurs
30 du spectre. Les émulsions ordinaires n'étant guère sensibles qu'au violet, au bleu-violet et au bleu, on utilise des émulsions spéciales dites *panchromatiques*.

Nous allons maintenant examiner le procédé qui permet de reconstituer fidèlement toutes les couleurs du sujet photographié au moyen des trois images monochromes

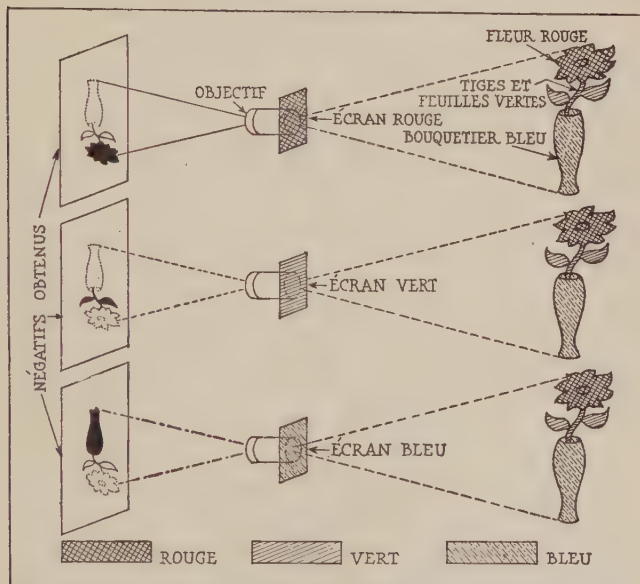


FIG. 47. — SCHÉMAS DÉMONSTRATIFS DU FILTRAGE DE LA LUMIÈRE

Les écrans colorés transparents interposés sur le trajet des rayons lumineux d'une chambre photographique filtrent la lumière transmise par l'objet à photographier et ne laissent passer que les radiations correspondant à leurs couleurs propres.

que l'analyse, par les écrans transparents, nous a fourni. Il s'agit donc de réaliser la *synthèse des couleurs*.

Pour expliquer la synthèse des couleurs qui ont été analysées photographiquement, nous allons prendre le cas

de la synthèse par projection lumineuse sur un écran blanc, qui est le cas habituel des procédés de cinématographie en couleurs naturelles.

Les trois négatifs obtenus, ci-dessus indiqués, ont servi
5 à exécuter trois positifs transparents (diapositifs), soit par tirage par contact, soit par inversion des clichés négatifs.

Sur le positif exécuté d'après le négatif obtenu sous le filtre bleu, les bleus sont représentés par des transparences, tandis que les autres couleurs sont traduites par des opa-
10 cités plus ou moins épaisses. Les bleus et les rouges correspondent à des opacités sur le positif d'après le négatif du filtre vert, tandis que, sur le positif du filtre rouge, les opacités correspondent aux bleus et aux verts du sujet. Les couleurs mixtes sont traduites par des transparences
15 intermédiaires, c'est-à-dire par des gris plus ou moins obscurs. Les blancs sont reproduits par des transparences sur chacun des diapositifs.

Si l'on projette simultanément sur un écran blanc les diapositifs, derrière les filtres qui leur correspondent res-
20 pectivement et si l'on confond les trois images *en une seule*, en les superposant sur l'écran de projection, cette image unique, ainsi obtenue, possède toutes les couleurs de l'objet photographié.

On réalise, de cette façon, aussi parfaitement que pos-
25 sible, une synthèse photographique des couleurs *par addition*.

La technique générale, succinctement indiquée ci-dessus, est à la base de la cinématographie en couleurs naturelles.

Parmi les nombreux procédés proposés pour la cinéma-
30 tographie des couleurs par trichromie, trois de ceux-ci ont été réalisés d'une manière vraiment pratique et donnent les résultats les meilleurs. Tous les trois sont des inven-

tions bien françaises. Ce sont: le procédé Gaumont, le procédé Audibert et le procédé Keller-Dorian-Berthon (K.-D.-B.), ce dernier étant assez différent des autres par sa conception aussi hardie qu'ingénieuse.

Le principe du procédé Gaumont consiste à prendre 5 simultanément, sur une même bande de film cinématographique, trois images, chacune de ces images étant obtenue avec un objectif distinct et à travers un écran coloré spécial. L'appareil de prise de vues cinématographiques, employé dans ce procédé, comprend donc trois 10 objectifs fonctionnant en même temps, de manière à fournir trois images distinctes et représentant chacune le même sujet, exactement dans la même position sur les trois images. A chaque objectif correspond un écran transparent coloré spécial, destiné à opérer une sélection des 15 couleurs, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Les trois objectifs sont alignés verticalement et sont obturés et démasqués en même temps. Les trois images devant représenter l'objet dans la même phase de mouvement, il serait donc nécessaire que la vitesse de passage du film 20 derrière les objectifs soit trois fois plus grande que celle employée dans les prises de vues en « blanc et noir », où l'on n'impressionne, comme chacun sait, qu'une seule image à la fois.

Dans la prise de vues en couleurs par le procédé dont il 25 est question, il faut prendre trois images à la fois et répéter cette opération, en moyenne, seize fois à la seconde; la vitesse de passage du film est donc très grande et l'on aurait risqué fort de déchirer la pellicule, si l'on ne s'était arrangé pour diminuer la vitesse de celle-ci, tout en con- 30 servant la même fréquence de passage des images. Pour cela, on a réduit la hauteur des petites vues, qui n'est plus

que de 14 millimètres, tandis que la hauteur standard des images en « blanc et noir » est de 18 millimètres. Les images sont donc inscrites dans un rectangle un peu plus allongé que le format habituel.

- 5 Le film négatif, ainsi obtenu, et dans lequel les couleurs ont été sélectionnées suivant les principes indiqués plus haut, est traité comme d'habitude, c'est-à-dire qu'il est développé, fixé, lavé, séché, etc. . . . On en tire ensuite des films positifs absolument comme s'il s'agissait de films
10 obtenus en « blanc et noir ».

- Ces films positifs sont ensuite projetés au moyen d'un poste spécial, chaque vue étant placée derrière l'écran transparent qui lui correspond. Le système optique de l'appareil de projection est disposé de telle manière que
15 les trois images, représentant la même fraction de mouvement, chacune correspondant à un filtre différent et étant projetée sous un filtre de même couleur, puissent se superposer sur l'écran de projection en une image unique qui possède alors toutes les couleurs des objets cinématogra-
20 phiés.

- Toutefois, il est nécessaire, pendant la projection, d'effectuer des réglages, de manière à corriger les légers décalages qui se produisent dans la superposition des trois images monochromes, ces images pouvant déborder légè-
25 ment et chevaucher un peu les unes sur les autres. Cet effet, à la projection, se traduit par des franges colorées autour des images projetées sur l'écran.

- Au début de la réalisation pratique du procédé Gaumont, un observateur placé très près de l'écran apercevait
30 ces décalages avant que les spectateurs, situés plus loin derrière lui, puissent les voir. Cet observateur était relié par téléphone à la cabine de projection et avertissait

l'opérateur des corrections à effectuer. Actuellement, l'observateur a sur ses genoux un petit appareil relié électriquement et directement au poste de projection. Il peut ainsi faire, lui-même, les réglages de couleurs nécessaires sans que l'opérateur de projection ait à intervenir. Ce 5 dispositif, extrêmement ingénieux, permet de faire un réglage très rapide et très précis chaque fois que le besoin s'en fait sentir au cours de la projection du film.

Les résultats fournis par la méthode Gaumont sont très intéressants, mais ce procédé exige un appareillage spécial, 10 tant pour la prise de vues que pour la projection des films, ce qui constitue un inconvénient d'une certaine gravité pour son exploitation commerciale courante et sa vulgarisation rapide.

Le procédé Audibert, mis au point avec la collaboration 15 de M. le professeur Thovert, de la Faculté des Sciences de Lyon, repose sur un principe absolument analogue à celui du procédé Gaumont, c'est-à-dire qu'il utilise trois vues sélectionnées, chacune de ces trois vues représentant la même fraction du mouvement enregistré. Mais, tandis 20 que, dans le procédé étudié plus haut, les trois vues monochromes étaient alignées verticalement, dans le procédé Audibert elles sont placées côte à côte en une bande horizontale. On emploie alors un film plus large que les films ordinaires (53 millimètres au lieu de 24,5). Les images ont 25 les mêmes proportions que les images cinématographiques en « blanc et noir », mais sont de dimensions plus restreintes de manière à ne pas nécessiter une largeur totale du film par trop grande.

Cependant, si, dans le but d'obtenir les trois petites vues 30 placées côte à côte sur une même bande horizontale, l'on se contentait d'avoir trois objectifs alignés les uns à côté

des autres, le point de vue ne serait pas le même pour les trois objectifs et les images obtenues ne seraient pas exactement identiques quant au dessin. On obtiendrait des effets de parallaxe absolument analogues à ceux qui
5 sont utilisés pour l'obtention de photographies stéréoscopiques binoculaires. Les trois images ne seraient pas superposables et, à la projection, l'image, résultant de la superposition des trois images monochromes serait bordée de franges colorées puisque les trois images correspon-
10 draient à trois points de vue différents.

Le dispositif optique destiné à éliminer les effets de la parallaxe de profondeur de champ est très simple et fort ingénieux. Les trois objectifs en question ne reproduisent pas directement le sujet à photographier, mais bien une
15 image virtuelle de ce sujet fournie par une combinaison optique divergente placée devant les trois objectifs. Cette image virtuelle est contenue dans un plan, elle n'a pas d'épaisseur, la parallaxe de profondeur de champ n'existe donc plus pour les trois objectifs destinés à fournir les trois
20 images monochromes réelles d'après cette image virtuelle.

Le procédé Audibert donne des résultats excellents, car la superposition des images est absolument parfaite; néanmoins, on pourrait lui reprocher, comme au procédé Gaumont, de nécessiter un appareillage spécial, tant pour
25 la prise de vues que pour la projection. Dans le but de remédier à cet inconvénient, M. Audibert a réalisé un dispositif, légèrement différent de celui qui a été décrit plus haut, lequel permet de loger très facilement les trois vues monochromes sur un film de largeur normale.

30 De cette façon, le procédé Audibert est applicable avec le matériel cinématographique actuellement existant; il suffit, tout simplement, de changer les objectifs de prise de

vues et de projection et de les remplacer par les objectifs spéciaux dont le principe essentiel a été indiqué ci-dessus.

Nous avons gardé pour la fin le procédé Keller-Dorian-Berthon (K.-D.-B.), car il diffère sensiblement des deux procédés examinés jusqu'ici. Sa conception est particulière- 5
ment hardie et très originale.

Ce procédé, inventé par M. Rodolphe Berthon et mis au point par M. Albert Keller-Dorian et ses habiles collaborateurs, repose sur le 10
principe suivant:

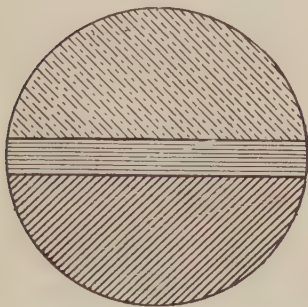


FIG. 48. — ÉCRAN SÉLEC-
TEUR TRICHROME

On le place dans l'objectif pour l'obtention de films en couleurs par le procédé K.-D.-B.

Supposons un objectif photographique dans lequel on place un filtre sélecteur de couleurs formé de trois 15
zones colorées: verte, bleue et rouge (fig. 48). Si une lentille convergente, de dimensions microscopiques, est placée au foyer de cet ob- 20
jectif, devant un verre dépoli et à une très petite distance de celui-ci, on constate que

cette petite lentille fournit sur le verre dépoli une image complète du filtre sélecteur trichrome. Ceci a lieu indé- 25
pendamment de la formation de l'image fournie par le grand objectif qui contient l'écran sélecteur.

Imaginons que l'on réalise un *réseau de lentilles microscopiques* devant le verre dépoli et, pour simplifier, prenons le cas où l'objectif est chargé de donner une image d'un 30
objet bleu. Les radiations bleues, émises par cet objet *ne passeront que par la partie bleue du filtre sélecteur*, et les

lentilles microscopiques, placées près du verre dépoli, ne projetteront sur celui-ci que des bandes bleues, tandis qu'aux parties rouges et vertes du filtre sélecteur ne correspondront que des bandes sombres sur ce verre.

- 5 Si l'on remplace le verre dépoli par une couche photographiquement sensible et panchromatique, c'est-à-dire sensible à toutes les couleurs, et si l'on s'arrange pour que celle-ci soit impressionnée par l'image fournie par l'objectif à travers le réseau de lentilles microscopiques, seules les
10 parties correspondant à la zone bleue paraîtront en noir dans le révélateur.

- Inversons l'image négative ainsi obtenue, c'est-à-dire transformons-la en image positive, la partie impressionnée deviendra transparente, les autres parties, correspondant
15 au rouge et au vert, donneront du noir.

- Projetons, maintenant, cette image positive, ainsi obtenue, en nous servant du même objectif, à travers le même réseau de lentilles microscopiques et en éclairant le système par un faisceau de lumière blanche. Ces rayons
20 blancs ne traverseront, bien entendu, que les parties transparentes du positif, en quelque sorte *tramé*, qui a été obtenu et, en vertu de la *loi de la réversibilité de la marche des rayons lumineux*, chaque petite lentille du réseau dirigera les rayons lumineux, qui auront traversé les parties trans-
25 parentes, uniquement vers la zone bleue du filtre sélecteur. On aura donc, sur l'écran, la reproduction de l'objet bleu avec sa couleur propre.

- En se reportant au début de cet article, on pourra très bien se rendre compte de la reproduction par ce procédé,
30 des objets à teintes complexes. Dans le cas d'un objet jaune, par exemple, qui émet des radiations composées de rouge et de vert, la zone rouge et la zone verte de l'écran

sélecteur seront intéressées toutes les deux. Pour le violet, ce seront les zones bleue et rouge, etc. Les trois zones bleue, rouge et verte seront traversées par les rayons correspondant aux blancs.

Les films K.-D.-B. ont les mêmes dimensions que les 5 films ordinaires en « blanc et noir » et donnent des images de même format. Ils possèdent une couche sensible panchromatique et le côté non émulsionné du celluloïd porte, gravé par un procédé de gaufrage spécial, le réseau de lentilles microscopiques dont il est question ci-dessus. 10 D'autre part, le film doit être impressionné, le côté celluloïd gaufré étant tourné vers l'objectif, afin que les rayons lumineux soient obligés de traverser la *trame de lentilles* avant d'atteindre la couche sensible.

Le diamètre de chaque élément lenticulaire du réseau 15 doit être inférieur à $4/100^e$ de millimètre. On conçoit donc que la gravure du cylindre servant à gaufrer le celluloïd des films, de manière à obtenir les myriades de petites lentilles (520, 1 000 ou même 1 500 au millimètre carré), constitue un extraordinaire tour de force. Ce travail, ad- 20 mirable de précision, a été réalisé, après plusieurs années d'études, dans les ateliers de M. Albert Keller-Dorian à Mulhouse. Nous donnons, page suivante, une reproduction photomicrographique de la partie gaufrée du film d'après laquelle on pourra se rendre compte du degré de perfection 25 atteint par le graveur (fig. 49).

Ceux qui connaissent le principe des plaques *autochromes* de MM. Lumière pourront facilement apercevoir les analogies qui existent entre ces plaques et les films K.-D.-B. Dans les autochromes Lumière, les filtres sélecteurs 30 sont constitués par un réseau de grains de fécule teints et accolés les uns aux autres. Dans les films K.-D.-B., un

réseau semblable est, en quelque sorte, constitué par la multitude de petites images du filtre trichrome contenu dans l'objectif, images données par la multitude des lentilles convergentes microscopiques qui sont gravées sur le film (côté non émulsionné).

Plusieurs films en couleurs très beaux ont été réalisés par le procédé K.-D.-B. qui peut être appliqué avec n'importe quel appareil de prise de vues ou de projection actuellement en usage. Il suffit, en effet, de monter sur ceux-ci des objectifs dans lesquels un écran sélecteur spécial a été intercalé. Le film, lui-même, est incolore et peut être projeté soit en noir, soit en couleurs. Il est du format standard; une seule image suffit pour la reconstitution complète des couleurs.

Le procédé K.-D.-B. n'est donc pas seulement une curiosité technique remarquable, il est aussi très intéressant au point de vue pratique de l'exploitation, puisqu'il ne nécessite qu'une transformation insignifiante des postes existant actuellement qui pourront passer des films en couleurs naturelles à des films ordinaires en « blanc et noir », livrés par les maisons d'édition cinématographique. La cinématographie en couleurs naturelles est donc aujourd'hui une réalité pratique. Cette heureuse combinai-

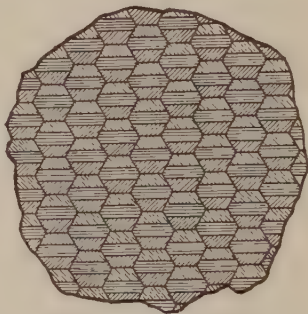


FIG. 49. — RÉSEAU TRICHROME FOURNI PAR LES PETITES IMAGES DE L'ÉCRAN (CONTENU DANS L'OBJECTIF) QUE DONNE LE RÉSEAU DE PETITS ÉLÉMENTS LENTICULAIRES DU FILM

son des deux merveilles modernes que sont la photographie des couleurs et la cinématographie, semble être, non seulement d'après l'avis des techniciens, mais aussi d'après celui de nombreux exploitants, une des formes parfaites de la cinématographie de l'avenir.

5

Certes, la cinématographie en « blanc et noir » a connu universellement un succès tel qu'il est possible d'affirmer que le cinéma fait, en quelque sorte, partie de la vie moderne. Le public s'est passionné pour le cinéma, pour ses artistes, et son engouement dure encore. Ce succès 10 sera-t-il toujours aussi grand? Il n'est pas d'exemple que l'habitude n'ait tué les plus beaux enthousiasmes. La foule est avide de nouveauté. Les metteurs en scène et les acteurs ont tâché de lui apporter cette ration de nouveau en variant et en multipliant les scénarios, les genres 15 de présentation, les thèmes, etc. . . . Ils ont à peu près réussi jusqu'ici; réussiront-ils toujours?

Quoi qu'il en soit, on peut affirmer que le principal facteur du développement commercial du cinéma est la nouveauté. Mais la cinématographie n'a pas dit son dernier 20 mot: il reste encore à mettre au point la reproduction cinématographique du relief et celle du son.

La Science et la Vie, Paris

XXXV. La Reproduction de la Parole au moyen du Pallophotophone

Depuis très longtemps on a cherché à combiner le cinématographe et la reproduction de la parole. Faire parler un film a été le but vers lequel ont tendu les efforts de 25

nombreux techniciens. Le problème est très difficile à résoudre, car il faut obtenir un synchronisme parfait des mouvements et de la parole. Il n'était pas rare, par exemple, de voir un acteur la bouche close pendant que
5 l'appareil reproducteur de son faisait entendre, au contraire, un chant plus ou moins mélodieux, et l'effet était irrésistiblement comique. Les méthodes qui étaient basées sur les mouvements séparés de l'appareil enregistreur de vues et de l'enregistreur de sons étaient fatalement vouées
10 ainsi à l'insuccès.

C'est pourquoi on a cherché, dans un nouveau procédé, à faire l'enregistrement de la parole et celui du mouvement sur la même pellicule. On est ainsi certain d'obtenir un synchronisme parfait au moment de la projection. Quelle
15 que soit la vitesse avec laquelle on projette le film sur l'écran, on est absolument assuré que la reproduction du son suivra très fidèlement. Cette idée, due à un Français, M. Lauste, a été parfaitement réalisée avec l'appareil que nous allons décrire.

20 Le pallophotophone est un dispositif destiné à transformer les vibrations sonores en oscillations électriques correspondantes, au moyen d'un faisceau lumineux. Le faisceau lumineux peut être utilisé pour produire directement de l'énergie électrique ou pour enregistrer les vibra-
25 tions originales sur une pellicule photographique, au moyen de laquelle il devient possible de reproduire les oscillations électriques correspondantes aussi souvent que l'on veut. On peut donc enregistrer simultanément les vues et les sons, ce qui rend possible enfin la résolution pratique du
30 problème du film parlant.

La transformation des ondes sonores en énergie électrique est effectuée en créant une variation dans le volume

d'un faisceau de lumière projeté sur une cellule photo-électrique appropriée. Cette cellule, placée en circuit avec une force électromotrice convenable, donnera naissance à un courant d'intensité variable avec la quantité de lumière projetée sur la cellule.

La figure 50 représente le dispositif employé. *L* est une lampe à incandescence spéciale dont la lumière converge

5

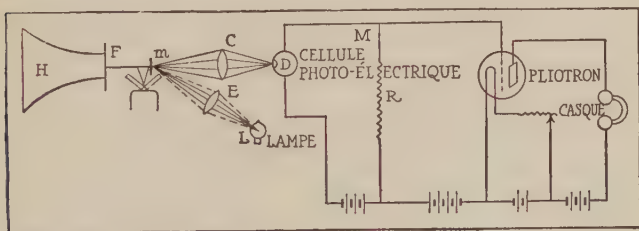


FIG. 50. — SCHÉMA REPRÉSENTANT LES ÉLÉMENTS DU PALLO-PHOTOPHONE EMPLOYÉ POUR TRANSFORMER LES SONS EN LUMIÈRE ET POUR TRANSFORMER, À SON TOUR, CETTE LUMIÈRE EN VIBRATIONS ÉLECTRIQUES CORRESPONDANTES

H, pavillon; *F*, diaphragme; *m*, miroir; *C*, *E*, lentilles convergentes; *L*, lampe; *D*, cellule photo-électrique; *R*, résistance; *M*, conducteur allant à la grille.

vers le foyer d'une lentille sphérique *E*; un petit miroir *m*, placé en ce point, renvoie la lumière qui le frappe sur une lentille cylindrique *C* qui concentre le faisceau lumineux sur la cellule photo-électrique *D*.

Les ondes sonores, en pénétrant dans l'embouchure du pavillon *H*, puis sur le diaphragme *F* et le miroir *m*, font se déplacer horizontalement le faisceau lumineux, ce qui fait varier la quantité de lumière entrant dans la cellule. Il en résulte que le courant passant à travers la résistance *R* varie lui aussi; le potentiel du point *M* varie alors pro-

15

portionnellement aux ondes sonores qui entrent dans le pavillon. Ce potentiel variable peut être appliqué à la grille d'une lampe à trois électrodes de la façon ordinaire et amplifié suffisamment pour faire fonctionner un haut-parleur ou pour actionner des écouteurs téléphoniques.

L'élément vibrant est représenté figure 51. *A* est la section transversale d'une petite lame en acier reposant

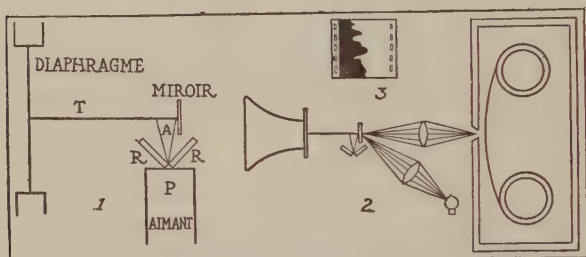


FIG. 51. — AUTRES ÉLÉMENTS DU PALLOPHOTOPHONE

1, élément vibrant (*T*, tige; *A*, lame d'acier; *R R*, rubis; *P*, aimant). — 2, schéma représentant les éléments du pallophotophone employé pour l'enregistrement permanent des sons sur une pellicule photographique. — 3, reproduction d'un fragment de pellicule enregistrée.

sur deux rubis *R* et *R* placés à 90 degrés l'un de l'autre. Cette lame est reliée au moyen d'une petite tige *T* au diaphragme sur lequel tombent les ondes sonores. L'arête de la lame est maintenue fermement au fond du V formé par les rubis, au moyen de l'aimant permanent. Le miroir *m* est fixé à la lame en acier. On voit que, sous l'action des ondes sonores faisant vibrer le diaphragme, le miroir prend un mouvement d'oscillation. Il suffit d'un très léger déplacement du diaphragme pour faire déplacer le miroir d'un angle relativement grand. Le déplacement du fais-

ceau lumineux à la surface de la cellule est approximativement égal à deux mille fois le déplacement du diaphragme. Or, il suffit d'un déplacement de 0,002 centimètre à l'ouverture de la cellule pour produire une bonne reproduction de la parole ou de la musique dans une paire d'écouteurs téléphoniques placés dans le circuit de plaque d'une lampe amplificatrice. Il suffit donc d'un déplacement du diaphragme de 0,000001 centimètre pour reproduire avec exactitude et une intensité bien suffisante la voix ou la musique.

Le poids total du diaphragme, de la tige et du miroir (du dispositif vibrant) est d'environ 9 milligrammes, ce qui représente environ la moitié du poids de la tête d'une épingle ordinaire, soit le douzième environ du poids total d'une épingle. La période naturelle de l'ensemble de ce dispositif vibrant est de 4 à 5 000 vibrations par seconde.

L'appareil, à cause de sa faible masse, de sa période naturelle et élevée, de sa grande sensibilité, reproduit fidèlement non seulement les oscillations fondamentales, mais aussi les nombreuses harmoniques nécessaires pour reproduire parfaitement la voix humaine et les autres ondes sonores même complexes.

Sa sensibilité est telle qu'il permet la reproduction de mots prononcés à voix basse à une quinzaine de mètres. Il reproduit d'ailleurs tout aussi bien les sons forts que les sons faibles.

La cellule photo-électrique employée est extrêmement sensible aux moindres variations de lumière. Contrairement à la cellule de sélénium, elle a un fonctionnement instantané. Ceci est dû au fait qu'elle utilise l'émission électronique et non pas la variation de résistance comme dans le type ordinaire de cellule au sélénium.

La parole ou la musique entrant dans le pavillon de l'appareil employé comme transmetteur peut être reproduite au moyen d'un dispositif haut-parleur; on peut aussi l'envoyer dans les lampes modulatrices d'une station
5 d'émission radiophonique. C'est ainsi que la station de Schenectady, New-York (WGY) emploie un de ces instruments pour toutes ses émissions.

Enregistrement et reproduction des sons. — Il nous reste à voir comment la voix ou les autres sons sont en-

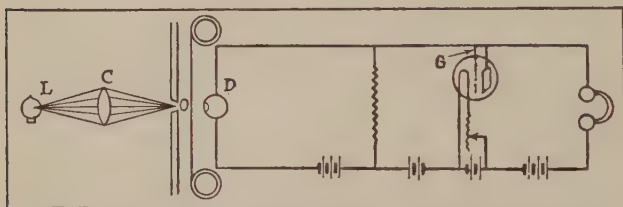


FIG. 52. — DESSIN SCHÉMATIQUE DE L'ENREGISTREUR

L, lampe; *C*, lentille convergente; *O*, fente; *D*, cellule photo-électrique; *G*, grille du plotron.

10 enregistrés sur une pellicule photographique et reproduits ensuite nettement au moyen du pallophotophone.

Si une ouverture étroite, de 0,002 centimètre, par exemple, est placée en face d'une pellicule photographique (fig. 51, numéro 2), et si l'on fait vibrer un faisceau lumi-
15 neux projeté sur cette fente pendant que la pellicule se déplace avec une vitesse uniforme, il est évident que la pellicule enregistrera une image (ou oscillogramme) analogue à celle représentée même planche, numéro 3. Après que la pellicule est développée et séchée comme d'habitude,
20 on peut lui faire reproduire les sons qui ont servi à faire

l'enregistrement. Cette reproduction se fait de la façon suivante.

Sur la figure 52, l'ouverture étroite dont nous venons de parler, représentée en *O*, est placée devant une cellule photo-électrique sensible *D* et la lumière d'une lampe *L*, 5 placée à quelques centimètres de là, est concentrée sur cette ouverture au moyen d'une lentille *C*. On fait alors tourner la pellicule rapidement devant l'ouverture, à la même vitesse que celle à laquelle a été fait l'enregistrement. Il en résulte que la variation de la lumière qui tombe sur 10 la cellule, contrôlée par les endroits clairs et sombres de la pellicule, correspond exactement aux ondes sonores produites pendant l'enregistrement. De cette façon, la variation de potentiel sur la grille *G* reproduit exactement celle qui aurait eu lieu si la variation avait été produite par la 15 voix, comme c'est le cas ordinaire dans la transmission directe.

On a comparé plusieurs fois les effets produits par la transmission directe, en causant directement dans le transmetteur, et les effets produits par l'utilisation de la pellicule enregistrée. En passant de l'une à l'autre il n'était 20 possible de distinguer aucune différence entre les deux résultats obtenus par les deux méthodes indiquées.

Le pallophotophone est beaucoup plus sensible que les autres appareils enregistreurs. C'est ainsi que le mot 25 « souvenir », enregistré au moyen d'un oscillographe ordinaire, a donné 340 oscillations par seconde, la pellicule tournant à la vitesse d'un mètre par seconde. Le nombre d'oscillations du même mot enregistré au moyen du pallophotophone, et pour une même vitesse de la pellicule, a 30 été beaucoup plus considérable: il a atteint 2 000 oscillations.

Une amplitude de 1 mm. 5 environ suffit pour reproduire clairement la voix ou la musique. On peut donc très aisément placer huit enregistrements côte à côte sur une pellicule cinématographique ordinaire. En faisant tourner
5 cette pellicule à la vitesse de 0 m. 30 par seconde, il est

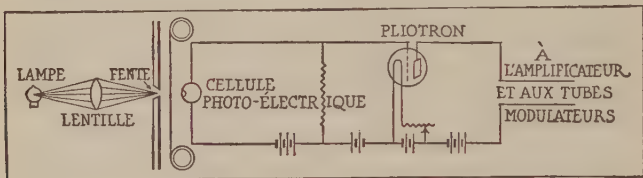


FIG. 53. — LE PALLOPHOTOPHONE EMPLOYÉ POUR LA MODULATION EN T.S.F.

possible d'enregistrer sur un rouleau de 60 mètres un discours d'une durée de vingt-quatre minutes.

Il est intéressant de comparer la façon dont s'effectue

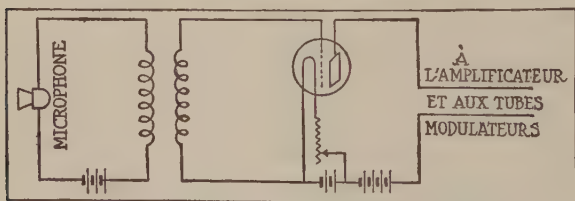


FIG 54. — SCHÉMA CORRESPONDANT DANS LE CAS D'UN MICROPHONE ORDINAIRE

l'émission radiophonique des concerts suivant qu'on utilise
10 le microphone ordinaire ou le pallophotophone. On remarquera sur la figure 53 qu'il n'est pas nécessaire, lorsqu'on emploie ce dernier instrument, de transformer les ondes lumineuses en ondes sonores avant de transmettre par téléphonie sans fil la parole ou la musique. Les variations

de lumière servent à produire les vibrations électriques nécessaires pour actionner directement les tubes modulateurs du poste émetteur. On voit sur la figure 54 les connexions utilisées dans le cas où l'on emploie un microphone ordinaire.

5

On peut donc affirmer que, grâce à cette ingénieuse invention, le film parlant enregistre simultanément, sur la même pellicule, les vues et les sons en un synchronisme parfait.

La Science et la Vie, Paris

XXXVI. La Lumière électrique à la Maison

Si nombreuses que soient aujourd'hui les stations productrices d'électricité, il existe bien des contrées où les villages ne connaissent encore que le pétrole, où les maisons les plus confortables doivent se contenter de cet éclairage incommode, malodorant et coûteux. Parce qu'on ne peut disposer du courant d'un secteur, on renonce trop 15 souvent aux avantages de l'électricité sans songer que l'on peut produire soi-même l'énergie électrique dont on a besoin et cela beaucoup plus facilement qu'on ne le croit généralement. Quel que soit l'endroit où vous habitez, vous pouvez éclairer votre maison à l'électricité; vous 20 pouvez être bien certain que les dépenses d'installation seront rapidement couvertes par l'économie très appréciable qui résulte de la suppression des becs à gaz, lampes à pétrole et autres systèmes d'éclairage dont l'entretien constitue, à lui seul, un véritable travail et une cause de 25 frais, à la longue, considérables.

Il y a différents moyens de produire chez soi le courant

électrique nécessaire à l'éclairage de la maison. Le premier consiste à recourir à un moteur quelconque, soit à vapeur, soit à explosions; les autres reposent sur l'utilisation, comme force motrice, d'une puissance naturelle telle
5 que l'eau ou le vent. Suivant l'installation que l'on a en vue, suivant le lieu où elle doit être réalisée, tel système est préférable à tel autre, parce qu'il sera plus pratique ou plus économique. Mais quel que soit ce système, il comporte presque nécessairement les mêmes organes, c'est-à-
10 dire un moteur, une dynamo génératrice, une batterie d'accumulateurs et un tableau de distribution. Le tout est complété par un certain nombre de lampes, autant de commutateurs et quelques dizaines de mètres de fil conducteur. L'ensemble forme une véritable usine généra-
15 trice plus ou moins importante suivant le nombre de lampes et les besoins des autres services qu'il s'agit d'assurer: élévation de l'eau, fonctionnement de machines agricoles et de machines-outils, transport de force électrique à distance, etc.

20 L'utilisation d'une turbine hydraulique pour actionner la dynamo génératrice n'est pas réalisable partout: par contre, le moteur à explosions et le moteur à vent sont susceptibles d'être adoptés pour toutes les installations, petites ou grandes. Il existe des groupes électrogènes
25 d'un demi-cheval répondant aux besoins modestes d'une simple villa; il y a des appareils beaucoup plus puissants, de 10, 20 et 25 chevaux, capables de produire l'électricité nécessaire aux plus vastes propriétés.

Envisageons ici l'installation électrique d'une maison
30 d'importance moyenne; supposons qu'il s'agisse, par exemple, d'alimenter alternativement une cinquantaine de lampes électriques, réparties dans la propriété, et dont

seulement une douzaine pourront être allumées simultanément. Quels systèmes s'offrent à notre choix et quels sont les avantages que présentent les uns et les autres?

Il convient tout d'abord de remarquer que le fait d'utiliser un moteur quelconque pour assurer le fonctionnement de notre dynamo ne nous obligera pas à l'affecter exclusivement à cet usage. Dès que la batterie d'accumulateurs a été chargée, il est possible de se servir du moteur pour actionner une pompe ou toute autre machine. Bien que nous n'abordions ici que la question de l'éclairage électrique, il ne faut donc pas oublier que le moteur, organe essentiel de la petite usine génératrice, permet de bénéficier de tous les avantages que procure la présence, dans une propriété, d'une source de force motrice. Cette force motrice convenablement appliquée aux différents besoins d'une installation agricole, d'une petite industrie, d'une maison d'habitation, permettra, dans une foule de cas, de réaliser de sensibles économies, qui s'ajouteront à celles que l'on aura obtenues en substituant l'électricité aux anciens modes d'éclairage plus coûteux et moins pratiques.

Différentes solutions du groupe électrogène appliqué à l'éclairage domestique ont été proposées. On a recherché avant tout le maximum de simplicité et le minimum de consommation, ceci afin de rendre inutile la surveillance des machines par un mécanicien pendant la marche et de leur assurer un rendement aussi économique que possible.

Examinons quelques-unes de ces solutions. Voici, par exemple, un petit groupe électrogène, à bas voltage, construit par une firme célèbre de l'industrie automobile. Grâce à ses dimensions réduites, il peut être placé n'importe où: dans la cave, dans le sous-sol, dans la cuisine même. Réunis en un bloc compact de 75 centimètres de

longueur sur 45 centimètres de largeur et 65 centimètres de hauteur, le moteur, son réservoir et la dynamo ne pèsent, montés sur un socle de bois, que 100 kilos. L'ensemble ne comporte aucun organe extérieur en mouvement, la
5 liaison entre le moteur et la dynamo étant assurée directement, sans courroie.

Le moteur est un monocylindrique à soupapes commandées; comme caractéristiques originales, il faut signaler l'emploi d'un régulateur à force centrifuge, d'une
10 grande sensibilité et qui, agissant sur l'admission des gaz, permet d'obtenir une marche très régulière du moteur et, par là même, un éclairage direct sans fluctuations dans l'intensité. Il faut noter également la façon fort ingénieuse dont on a résolu, dans ce moteur, la question du refroidis-
15 sement. Le volant agit à la fois comme réservoir d'eau, comme pompe et comme refroidisseur. Il est composé, en effet, d'une jante creuse munie extérieurement d'ailettes; sous l'influence de la force centrifuge, l'eau contenue dans la jante est envoyée, par l'intermédiaire d'une tubulure
20 verticale, jusqu'au cylindre; elle le refroidit dans d'excellentes conditions et retourne ensuite dans le volant où elle est réfrigérée à son tour avant d'accomplir un nouveau cycle.

La dynamo est accouplée directement au moteur; elle
25 forme avec ce dernier un groupe compact indéformable. L'entraînement de l'induit est assuré par un manchon élastique calé sur l'extrémité du vilebrequin.

Toutes les manœuvres du groupe sont assurées par les manettes du tableau de distribution qui comporte un am-
30 pèremètre et un voltmètre, une lampe témoin avec son interrupteur, un coupe-circuit et un rhéostat de démarrage formant disjoncteur. Tous ces organes sont placés sur un

tableau qui est formé d'une plaque de marbre n'ayant pas plus de 70 centimètres de hauteur.

Le courant produit par la dynamo peut alimenter directement les lampes, mais, à plusieurs points de vue, il est préférable d'avoir recours à une batterie d'accumulateurs. 5 La dynamo charge cette batterie et c'est celle-ci qui alimente les lampes. Ces lampes peuvent d'ailleurs être encore éclairées directement par la dynamo ou par la batterie seule ou par les deux à la fois. Mais il est alors possible, lorsque les accumulateurs sont chargés, d'arrêter le groupe 10 électrogène et de ne le remettre en marche que tous les deux ou trois jours, c'est-à-dire un peu avant que la batterie ne soit déchargée.

La mise en marche du groupe électrogène est assurée par la manœuvre d'une simple manette. D'autre part, un 15 disjoncteur coupe *automatiquement* le courant de charge, *provoquant en même temps l'arrêt du moteur*, dès que la batterie est suffisamment chargée. Si, pour une cause quelconque, le groupe cesse de fonctionner, le courant est interrompu de la même manière. Ainsi, en aucun cas, 20 la batterie ne saurait se décharger sur la dynamo, ce qui est très important.

Cette batterie est composée de trente éléments démontables et interchangeables placés dans des bacs de verre; son encombrement est approximativement de un mètre 25 carré. Lorsqu'elle est chargée, elle peut alimenter très facilement cinquante lampes de dix bougies sous 55 volts pendant cinq heures consécutives.

Quant à la consommation du moteur, elle est inférieure à un litre d'essence par heure. 30

Les chiffres ci-dessus permettent de se rendre compte de ce que peut coûter, dans ces conditions, la production du

courant électrique. En comptant l'essence à raison de 2 fr. 50 le litre, on dépensera environ 12 francs pour charger la batterie. Si l'on allumait les cinquante lampes à la fois, cinq heures d'éclairage absorberaient toute la capacité de
5 la batterie, mais comme, en pratique, on n'allume guère *à la fois* que le quart ou le cinquième des lampes, on voit que la réserve de courant est suffisante pour assurer un éclairage de vingt-cinq heures. Pendant la mauvaise saison, on pourra donc compter sur un éclairage de près de
10 quatre jours pour la somme de 12 francs. Comme la suite le montrera, ceci semble être un chiffre maximum que l'on n'atteint ordinairement qu'en décembre et janvier, à l'époque où la durée de la lumière solaire est la plus courte.

Nous trouvons chez d'autres constructeurs des groupes
15 électrogènes qui diffèrent du précédent par la disposition des organes mais qui fournissent également d'heureux résultats. Il y en a un qui est composé d'un petit moteur à explosions, d'une puissance de deux chevaux. Il actionne, par l'intermédiaire d'une courroie, une dynamo de
20 55-80 volts, tournant à 2 200 tours à la minute. Une batterie d'accumulateurs de trente et un éléments et un tableau de distribution complètent l'installation qui est d'un encombrement assez réduit pour prendre place dans un petit local dont la surface atteint à peine 6 mètres
25 carrés. Ici aussi, par la combinaison des appareils de manœuvre, on peut diriger le courant de la dynamo, soit directement dans les lampes, soit dans la batterie d'accumulateurs, soit dans les deux simultanément; on peut aussi diriger le courant de la batterie seule dans les lampes
30 et les éclairer également par la batterie et la dynamo à la fois.

Comme dans le système précédemment décrit, celui-ci

comporte un disjoncteur qui interrompt automatiquement la liaison de la dynamo et de la batterie dès que celle-ci est chargée.

La capacité des accumulateurs varie suivant le régime auquel a lieu la décharge: elle est de 60 ampères-heure si 5 on la décharge en dix heures; elle n'est que de 54 ampères au régime de décharge normal de six heures, et de 48 ampères au régime rapide de trois heures. Ceci revient à dire que cette batterie permet de tenir simultanément allumées dix-sept lampes pendant dix heures, vingt-cinq 10 lampes pendant six heures et quarante-quatre lampes pendant trois heures; ce résultat est très satisfaisant.

La consommation du moteur est également de un litre d'essence environ par heure.

Le constructeur de ce groupe électrogène a effectué de 15 nombreuses installations; leur fonctionnement permet de donner sur le coût de la consommation des chiffres précis.

Dans une villa de Bretagne, une installation de *cent vingt-cinq lampes*, à laquelle il faut ajouter le fonctionnement d'une pompe, occasionne une dépense journalière de 20 3 fr. 75 soit un litre et demi d'essence, estimé à 2 fr. 50 le litre.

Dans un château de la Sarthe, le groupe électrogène qui y fut installé alimente, outre *trois cent cinquante lampes*, 25 une pompe élevant 15 mètres cubes d'eau à l'heure avec une différence de niveau de 90 mètres et une petite usine frigorifique. La dépense annuelle est actuellement de 2 200 francs; avant la guerre, elle n'était que de 350 francs, l'essence pour moteurs ne coûtant à ce moment que 40 centimes le litre. 30

Enfin, dans un petit château de l'Aisne, l'allumage successif des soixante-quinze lampes que comportait l'in-

stallation entraînait, *par semaine* et pendant les mois de décembre et de janvier, une consommation de cinq litres d'essence, ce qui représente 12 fr. 50 environ.

En remplaçant l'éclairage au pétrole par l'éclairage
5 électrique, on installe généralement trois ou quatre fois plus de lampes électriques qu'il n'y avait de lampes à pétrole; cependant, et malgré cette augmentation, la dépense d'essence est sensiblement moins élevée que celle qui résultait autrefois de l'achat du pétrole pour les lampes.
10 Il semble bien que, dans une maison de campagne où trois pièces seulement sont éclairées simultanément, la dépense d'essence ne doit guère dépasser en moyenne, même avec les hauts prix du moment, 30 à 40 francs par mois.

Lorsqu'il s'agit d'une installation un peu plus impor-
15 tante, c'est-à-dire dès que l'on utilise une puissance motrice égale ou supérieure à 3 chevaux, on peut avoir recours à un moteur à huiles lourdes, type semi-Diesel, dont la consommation très réduite d'un combustible peu coûteux entraîne une dépense qui, pratiquement, est égale
20 au tiers de celle d'un moteur à essence. Cette consommation est, en effet, de 425 grammes d'huile à 80 centimes le kilo, par cheval-heure pour un moteur de 3 chevaux; elle peut descendre à 300 grammes et même à 280 grammes pour un moteur de 10 chevaux. L'emploi du moteur à
25 huiles lourdes présente, en outre, d'autres avantages: la simplicité du système rend sa surveillance inutile et supprime tous frais d'entretien. De plus, l'absence de tout organe délicat tels que magnéto, bougie, soupapes, carburateur, etc. . . . réduit encore les risques de pannes. En
30 certains cas, ce moteur est donc d'un emploi des plus avantageux.

La dépense de combustible peut, d'ailleurs, être réduite

à rien si l'on remplace le moteur à explosions par une éolienne; une fois l'installation effectuée, la production du courant électrique est absolument gratuite puisque la seule puissance du vent suffit à actionner la dynamo. L'application du moteur à vent à la production de l'élec- 5 tricité a été réalisée depuis longtemps et nous avons la possibilité d'étudier pratiquement, en divers endroits, de nombreuses installations aéro-électriques qui fonctionnent encore à l'heure actuelle avec les meilleurs résultats.

Presque toutes ces installations sont équipées précisé- 10 ment avec un moteur à vent du système le plus commun, c'est-à-dire une éolienne. De tous les essais tentés jusqu'à ce jour, il semble bien que ce soit ce système qui, en définitive, permette encore de tirer le meilleur rendement de la force du vent. Pour une même surface et un même dia- 15 mètre, l'éolienne paraît fournir, en effet, une puissance motrice plus élevée, à vent égal bien entendu, que les turbines à axe vertical dont le principe a séduit tant d'inventeurs sans leur donner, dans la pratique, les résultats qu'ils en attendaient. C'est un fait que les turbines aériennes 20 créées depuis plusieurs années déjà, sont rarement appliquées à des installations électriques en fonctionnement — pour notre part, nous n'en connaissons pas — tandis que les éoliennes sont couramment utilisées dans ce but, en France et à l'étranger. En attendant qu'un appareil 25 véritablement nouveau fournisse des preuves de sa supériorité, contentons-nous donc d'examiner comment et dans quelles conditions une éolienne peut remplacer le moteur à essence d'un petit groupe électrogène de marque quelconque. 30

Comme les installations précédentes, que nous avons décrites plus haut, celle-ci comporte presque nécessaire-

ment les mêmes organes, c'est-à-dire, outre le moteur, une dynamo, un tableau de distribution et une batterie d'accumulateurs. La batterie dont, à la rigueur, on pourrait se passer avec un moteur à essence de régime à peu près constant, devient ici indispensable en raison des irrégularités des fluctuations du vent. La dynamo elle-même doit être d'un type spécial pour pouvoir s'accommoder des vitesses différentes auxquelles elle sera soumise; on peut l'y adapter, d'ailleurs, en recourant à un régulateur de vitesse, bien qu'il soit possible de s'en passer, comme nous le verrons un peu plus loin.

Nous continuons à envisager l'installation électrique d'une habitation comportant quarante à cinquante lampes dont dix environ seront allumées simultanément.

15 L'éolienne qui actionne la dynamo a un diamètre de 3 m. 50. Elle est montée soit au sommet d'un pylône d'environ 12 mètres de haut, soit, plus simplement, sur le toit de la maison, s'il s'agit uniquement d'assurer l'éclairage électrique de cette maison.

20 La roue motrice de l'éolienne, constituée par un certain nombre de pales groupées sur un moyeu central et réunies les unes aux autres par un cercle en acier galvanisé, est reliée à la dynamo par l'intermédiaire d'un arbre vertical rigide et d'un renvoi approprié. Sans entrer dans des
25 détails qui sortiraient du cadre de cet article, il faut signaler cependant le dispositif autorégulateur de l'éolienne. Perpendiculairement à la roue se trouve le gouvernail qui a pour but de maintenir constamment cette roue face au vent. Mais dès que le vent dépasse une vitesse déterminée, le
30 gouvernail, effectuant jusqu'à un quart de tour, vient occuper peu à peu, et à mesure que la vitesse du vent augmente, une position *parallèle* à la roue. Il s'ensuit qu'à

partir d'un certain moment, la vitesse de rotation de l'appareil n'augmente plus, la roue, entraînée par le gouvernail, s'effaçant progressivement dans le lit du vent. Cette manœuvre a lieu automatiquement, la roue se replaçant elle-même en position normale, sous l'action d'un ressort, 5 dès que diminue l'intensité du vent. La vitesse de rotation de l'éolienne est ainsi *régularisée*, dans une certaine mesure, par ce dispositif d'effacement qui tend, sinon à assurer à l'appareil un régime *absolument* constant, du moins à éviter les effets désastreux que pourrait avoir, pour le 10 mécanisme et la dynamo, une vitesse par trop exagérée de la roue motrice.

Ce résultat est fort intéressant, surtout lorsqu'il s'agit d'appliquer la puissance du vent à la production de l'électricité. Cependant, depuis quelques années déjà, on dis- 15 pose de dynamos pour lesquelles il n'est pas indispensable d'avoir un régime absolument régulier. Grâce à un enroulement spécial, ces dynamos produisent un courant d'intensité constante sous des vitesses pouvant varier dans la proportion de 1 à 4. Non seulement cette propriété leur 20 permet d'être actionnées par un moteur à vent, mais encore, ce qui est très avantageux, d'être branchées directement sur ce dernier sans passer par l'intermédiaire d'un régulateur de vitesse.

L'emploi d'un système à basse tension est économique: 25 il convient parfaitement pour la plupart des installations domestiques qui comportent soixante à soixante-dix lampes au maximum. Quand ce chiffre n'est pas dépassé, on peut adopter la tension de 25 volts; au-dessus, on utilise généralement celle de 55 volts. Lorsqu'il s'agit d'une 30 installation très importante et quand on veut, notamment, établir un transport de force à plusieurs centaines de

mètres de distance, on est contraint d'envisager le système ordinaire à 110 volts, en raison des déperditions assez considérables qui se produisent dans une canalisation électrique de cette longueur.

- 5 Les accumulateurs sont ici indispensables. Ils permettent d'ailleurs de tirer parti de la plus petite brise; dès que la roue motrice commence à tourner, la dynamo produit de l'électricité qui est immédiatement emmagasinée dans la batterie. Le nombre des éléments de la batterie varie
10 avec le voltage de l'installation: il n'est que de quatorze éléments pour une tension de 25 volts, de trente et un éléments pour 55 volts, de soixante-deux éléments pour 110 volts. Le coût de la batterie entrant, pour une grande part, dans le prix de revient d'une installation aéro-électrique,
15 que, on voit qu'il est avantageux d'utiliser un voltage le moins élevé possible.

La capacité que doit présenter la batterie dépend naturellement de la fréquence des vents dans la région où est installé le moteur aérien. Pratiquement, si cette batterie
20 peut emmagasiner suffisamment d'électricité pour répondre, sans être rechargée, aux besoins de l'habitation, pendant quatre jours, on peut être à peu près certain de ne jamais manquer de courant. En France, la vitesse du vent atteint au moins 4 mètres à la seconde deux cents jours par
25 an; à cette vitesse, l'éolienne fonctionne et produit très régulièrement de l'électricité. Sur le littoral, la réserve des accumulateurs peut être réduite à deux jours, l'absence de vent étant, au bord de la mer, une exception.

Le tableau de distribution, par l'intermédiaire duquel on
30 commande les différents organes électriques de l'installation, comprend un voltmètre, un ampèremètre, un conjoncteur-disjoncteur automatique, un ou plusieurs inter-

rupteurs et, quelquefois, un limiteur de charge des accumulateurs. Nous avons indiqué déjà quel était le rôle du conjoncteur-disjoncteur: c'est celui d'établir la communication entre la dynamo et les accumulateurs dès que cette dynamo produit un courant d'intensité légèrement supérieure à celui que possède déjà la batterie, ce qui permet d'en compléter la charge. Puis, si la dynamo s'arrête, le disjoncteur interrompt cette communication afin que le courant emmagasiné ne puisse faire retour et se perdre dans la dynamo. Quant au limiteur de charge, il a pour but d'arrêter l'afflux du courant vers la batterie lorsque celle-ci est suffisamment chargée. On évite ainsi de détériorer ou de détruire les plaques des éléments.

Une telle installation n'exige ni surveillance, ni entretien; le tout fonctionne automatiquement. Un coup d'œil sur le tableau de distribution suffit pour se rendre compte de la réserve de courant dont on dispose et, suivant les indications obtenues, prodiguer, si on en a le désir, la lumière dans toutes les pièces de la maison ou, au contraire, l'économiser en vue d'une accalmie qui peut toujours se produire dans le régime du vent.

Bien entendu, l'adoption d'une éolienne à la place d'un moteur à essence ne limite pas l'emploi de la force motrice à la production du courant. Dès que la batterie est chargée, on peut se servir du moteur à vent pour tout autre usage que l'éclairage de la maison; lui aussi peut actionner une pompe, des machines-outils, des machines agricoles, etc., ou produire du courant qui sera transporté en un autre point de la propriété.

Le moteur à vent est donc capable de remplacer le moteur à essence pour l'éclairage des habitations. Quels sont les avantages respectifs des deux systèmes? — Le moteur

à essence fonctionne toujours quel que soit l'état de l'atmosphère. L'éolienne est malheureusement soumise aux caprices du vent.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'une batterie d'accumulateurs remédie presque complètement à l'absence de vent, puisque quatre jours de calme plat n'épuisent pas sa charge. Or, il est bien rare que, pendant quatre jours consécutifs, l'éolienne soit immobilisée. D'autre part, il y a un argument extrêmement favorable à l'éolienne; c'est que le courant qu'elle produit ne coûte absolument rien. Une fois l'achat des appareils effectué, la dépense est nulle, puisque leur fonctionnement est exclusivement assuré par une force naturelle et, par conséquent, gratuite. Or, le prix d'une installation électrique est sensiblement le même, qu'il s'agisse d'un moteur électrique ou d'une éolienne.

Pour conclure, nous répéterons ce que nous avons dit en commençant: les deux systèmes, moteur à essence et moteur à vent, sont susceptibles de fournir, l'un et l'autre, des résultats satisfaisants; il convient seulement, au moment de choisir celui que l'on adoptera, de tenir compte des besoins auxquels devra répondre l'installation.

La Science et la Vie, Paris

XXXVII. L'Appareil Dewoitine monté par l'Aviateur Barbot

Aux côtés de l'aviation militaire et de l'aviation commerciale, il y a place pour une aviation de tourisme. Après avoir établi des avions sans moteur, qui ne devaient leurs qualités voilières qu'à la valeur de leurs ailes, des constructeurs ont cherché à développer le succès des premières ex-

périences en munissant ces appareils d'un petit moteur, qui les affranchirait de la servitude des courants ascendants. Ainsi ont été créés des avions à faible puissance, qui sont, en somme, à l'avion de puissance normale ce que la motocyclette et le cyclecar sont à la grosse voiture automobile. 5

Si des ingénieurs clairvoyants se sont efforcés, voici déjà plusieurs années, de résoudre le problème, on peut dire pourtant que la première réalisation pratique de l'avionnette a été faite par M. Émile Dewoitine. L'appareil de 10 ce constructeur, piloté par l'aviateur Georges Barbot, a accompli des performances qui l'ont immédiatement classé, malgré la très faible puissance de son moteur, parmi les machines aériennes susceptible de recevoir une utilisation immédiate. 15

Dans ses grandes lignes le petit avion Dewoitine est semblable à un appareil normal. C'est un monoplan à ailes épaisses, sans hauban, dérivé directement de ce planeur Dewoitine qui vola, sans moteur, pendant huit heures trente-six minutes. L'épaisseur de ses ailes a per- 20 mis au constructeur de supprimer tout haubannage, souple ou rigide, d'où une amélioration très appréciable de cette qualité aérodynamique qu'on appelle la *finesse* . La finesse de l'avionnette Dewoitine est, en effet, assez remarquable, puisqu'elle est voisine de 16. Ceci revient à dire qu'en 25 arrétant son moteur, par exemple, à 100 mètres de haut, l'appareil parcourrait en vol plané 1 600 mètres avant de venir se poser sur le sol. Ce résultat très beau, on le doit aussi, et en grande partie, au profil adopté pour la construction de l'aile et qui est dû aux recherches person- 30 nelles de M. Dewoitine.

Les ailes sont fixées à un fuselage quadrangulaire de 6

mètres long, qui reçoit, à l'avant, le groupe moto-propulseur et, à l'arrière, l'empennage. Cet empennage est monoplan: il est surtout caractérisé par ses dimensions assez élevées. En raison de la vitesse relativement faible de la
5 petite machine, on est contraint, en effet, de prévoir des gouvernes de surface suffisante pour agir efficacement et rapidement à la commande du pilote. On avait déjà constaté cette nécessité des grandes gouvernes au premier
10 Congrès Expérimental d'Aviation sans Moteur, où la plupart des planeurs présentés — qui volaient en moyenne à la vitesse de 50 à 60 kilomètres à l'heure — étaient munis d'organes de commande qui étaient réellement par trop réduits.

Le pilote de l'avionnette est assis dans le fuselage, d'où
15 sa tête, seule, émerge. Il a devant lui le groupe moteur de l'appareil.

Dans les premières expériences du pilote Barbot, ce moteur était constitué par un 2 cylindres Anzani; par la suite, et notamment lorsque l'appareil effectua la traversée de la
20 Manche aller et retour, on utilisa un 2 cylindres dû à un excellent technicien, M. Pierre Clerget. Quel que soit le type adopté, le moteur est fixé sur le nez du fuselage, complètement en dehors de l'avion, et ceci pour lui assurer un refroidissement convenable. Sur l'arbre est branchée en
25 prise directe, par conséquent sans l'intermédiaire d'aucun démultiplicateur, une hélice en bois, à deux pales.

L'avion repose sur un train d'atterrissage, d'une conception très simple; il se compose de deux paires de montants parallèles reliés élastiquement à un essieu qui porte
30 une roue caoutchoutée à chacune de ses extrémités. A l'arrière du fuselage, une petite béquille en bois supporte l'empennage de l'avion.

Ainsi établie, l'avionnette a montré de réelles qualités. Équipée avec le moteur Anzani, elle a réussi à voler avec moins de 5 chevaux — exactement 4,9 C.V. — et à décoller

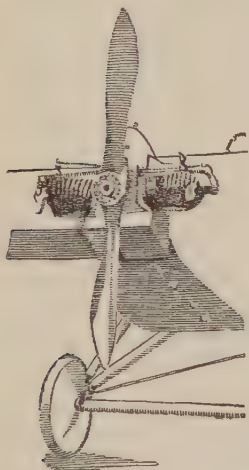


FIG. 55. — LE GROUPE
MOTO-PROPULSEUR DE
L'APPAREIL DEWOI-
TINE

L'avion est équipé avec un moteur à refroidissement par air, développant une puissance de 7 C.V. au régime de 1 300 tours. L'hélice, en bois, est calée directement sur l'arbre.

qui n'avaient jamais été atteints et qui révèlent les étonnantes qualités économiques de la machine.

Par la suite, on fut amené à changer le moteur — non

avec 7 chevaux. Le moteur, avec son hélice adaptée en prise directe, 5 pouvait tourner au régime maximum de 1 480 tours, c'est-à-dire qu'il était susceptible de fournir, dans ces conditions, une puissance de 9,3 C.V. Mais, en fait, 10 l'admission avait été réduite, et, pour le décollage, le moteur ne tournait qu'entre 1 300 et 1 350 tours, ce qui correspond à 7,02 C.V. En vol, le régime fut abaissé 15 jusqu'à 1 200 tours et, dans ces conditions, l'avionnette conservait, sans difficulté aucune, sa ligne de vol.

L'avion, avec ce moteur, pesait 20 exactement 250 kilogrammes en ordre de marche. Par conséquent, au moment du décollage, il volait en transportant 35 kg. 900 au C.V. et lorsque le régime du 25 moteur était réduit à 1 200 tours, la charge au C.V. se trouvait être de 51 kg. 200. Ce sont là des chiffres absolument remarquables,

parce que sa puissance était insuffisante, mais parce que les règlements des concours nationaux exigent que l'on ait recours à des moteurs construits en France par un constructeur français — et à le remplacer par un 2 cylindres
5 Clerget. Ce dernier, d'une cylindrée inférieure à 1 500 centimètres cubes, permet alors au pilote de disposer d'une puissance effective de 12 C.V. au régime d'utilisation qui est de 1 300 tours. Avec ce moteur, l'avion atteint une vitesse de 90 kilomètres à l'heure.

- 10 Certains se sont demandé si l'emploi d'une puissance motrice aussi faible ne constituait pas « un retour en arrière », l'augmentation continuelle de la puissance ayant accompagné jusqu'ici les progrès de l'aviation. Il n'en est rien. Si l'on veut permettre l'essor d'une aviation
15 particulière, d'une aviation de tourisme et de promenade, il importe de développer le facteur économique, qui a été trop délaissé. Il importe que l'organe essentiel de l'avion soit la voilure et que le moteur ne soit plus qu'un organe auxiliaire. Aussi bien, en améliorant les qualités de la
20 voilure, on contribue non seulement aux progrès d'une branche particulière de l'aviation, mais au perfectionnement de l'aviation tout entière, quelles que soient les applications qu'on lui destine. Le fait d'avoir recours à une faible puissance motrice n'implique pas, d'ailleurs, une in-
25 suffisance de puissance, qui, elle seule, serait dangereuse.

La sustentation de l'avion reposant sur la vitesse, on conçoit que l'excédent de puissance soit une nécessité si l'on veut assurer la sécurité de cet avion. Mais, pour remplir cette condition, point n'est besoin de recourir à un mo-
30 teur de 100 C.V. et plus. L'excédent de puissance est le rapport entre la puissance minimum qui est nécessaire à l'avion pour tenir sa ligne de vol et celle dont le pilote dis-

pose effectivement. Un avion de 15 C.V. qui ne descend pas lorsque le moteur ne donne que 5 C.V. a un excédent de puissance supérieur à celui d'un avion de 300 C.V. qui ne conserve plus sa ligne de vol dès que la puissance du moteur s'abaisse au-dessous de 150 C.V. Le monoplan Dewoitine, qui tient l'air avec moins de 5 C.V., possède donc un excédent de puissance très considérable lorsqu'il est équipé avec un moteur développant 12 C.V. 5

On a, d'ailleurs, la preuve de cet excédent de puissance dans l'altitude considérable à laquelle peut monter l'appareil. A mesure que l'on s'élève, et par suite de la raréfaction de l'air, la puissance des moteurs diminue. Il faut donc avoir au sol une puissance beaucoup plus grande que celle dont on a réellement besoin, pour pouvoir encore disposer, à haute altitude, de celle qui est strictement nécessaire pour assurer la sustentation de l'appareil. C'est ainsi que la valeur du *plafond*, c'est-à-dire la hauteur maximum à laquelle peut atteindre un avion, est intimement liée à la finesse de cet avion et à son excédent de puissance. Or, le monoplan Dewoitine, avec le moteur de 12 C.V., a un plafond voisin de 4 000 mètres. 15 20

On ne peut donc comparer le petit avion actuel avec les machines des premières heures de l'aviation, d'abord parce que celles-ci disposaient tout de même d'un nombre plus élevé de chevaux-vapeur et, ensuite, parce que les performances qu'elles étaient susceptibles de réaliser restent très inférieures à celles du monoplan de Georges Barbot. Ainsi le plus célèbre des avions de 1909-1910 ne disposait, malgré ses 25-30 C.V., que d'un plafond atteignant à peine 800 mètres, c'est-à-dire que son excédent de puissance était notoirement insuffisant. 25 30

XXXVIII. Le gigantesque Croiseur aérien construit par l'Allemagne pour les États-Unis

Le traité de Versailles a stipulé que l'Allemagne devait livrer à la République des États-Unis, au titre des réparations, un dirigeable du modèle le plus perfectionné. Ainsi est né le ZR-3, avec lequel un équipage allemand et quel-
5 ques officiers américains — l'aéronef ne devait être pris en recette que s'il parvenait sans encombre de l'autre côté de l'Atlantique — devaient gagner Lakehurst, sur la côte des États-Unis.

La traversée de l'Atlantique par le ZR-3 a représenté un
10 gain de *deux journées et demie* sur le temps employé par les paquebots les plus rapides. La vitesse de croisière, c'est-à-dire correspondant au régime normal des moteurs, du nouveau dirigeable a atteint, environ, 115 à 116 kilomètres à l'heure. A pleine allure, il aurait pu facilement faire du
15 140 à l'heure, mais en diminuant notablement son rayon d'action. A l'allure économique de cette vitesse de croisière, avec l'approvisionnement prévu (vingt-six tonnes d'essence, deux tonnes d'huile, quatre tonnes d'eau), il pouvait tenir l'air pendant cent vingt heures; or, les
20 établissements Zeppelin comptaient n'en pas dépasser soixante pour la traversée de l'Océan. Ils ont eu raison.

Les premiers essais du comte Zeppelin datent de 1900. Ils eurent lieu, comme les suivants, au bord du lac de Constance, parce que l'inventeur pensait avoir avantage
25 à utiliser l'élément liquide pour faire rentrer son rigide au hangar. L'eau, selon lui, devait jouer le rôle d'un amortisseur naturel.

Le ZR-3 est le cent vingt-sixième dirigeable construit par les ateliers Zeppelin (vingt-cinq avant la guerre, quatre-vingt-huit pendant les hostilités, treize depuis 1919). Il est interdit aux Allemands de construire de nouveaux zeppelins.

5

Les caractéristiques du ZR-3 sont les suivantes:

Volume de gaz	m ³	70.000	
Longueur	mètres	200	
Diamètre au maître couple	"	27, 64	
Hauteur maximum (comprenant les amortisseurs de chocs des nacelles)	"	31	10
Force motrice (5 moteurs de 400 C.V.)	C.V.	2.000	
Lest	tonnes	16	
Combustible	"	26	
Poids total de l'aéronef (carcasse, moteurs, appareils divers et tous accessoires)	kg.	41.100	15
Force ascensionnelle <i>totale</i>	"	81.300	
Force ascensionnelle disponible (pour enlever le carburant et l'huile, le lest liquide, les rechanges et l'outillage, l'équipage, les passagers et leurs bagages, etc.)	environ kg.	40.000	20
Rayon d'action avec cinq moteurs:			
a) A pleine allure (46 heures de marche)	km.	5.600	
b) A l'allure économique de croisière (78 heures de marche)	"	8.400	25

Description générale. — Le corps du ballon proprement dit comporte: Une carcasse en duralumin avec des tendeurs en fil d'acier, une enveloppe générale extérieure en tissu de coton, une série de ballonnets à gaz, les nacelles spéciales contenant les moteurs, la cabine des passagers et les différents organes de manœuvre.

La carcasse. — La carcasse est composée d'anneaux rigides d'armaturage perpendiculaires à l'axe du ballon.

Ces anneaux se présentent sous la forme générale d'un polygone régulier de vingt-quatre côtés. Toutefois, ceux qui viennent former l'arrière du ballon n'ont que huit côtés. Ils sont de deux types: les anneaux principaux, dont les sommets correspondants sont reliés les uns aux autres par des tendeurs (fig. 56); les anneaux intermédiaires, qui ne présentent pas cette particularité. Il en résulte:

1° Que les anneaux principaux constituent le squelette

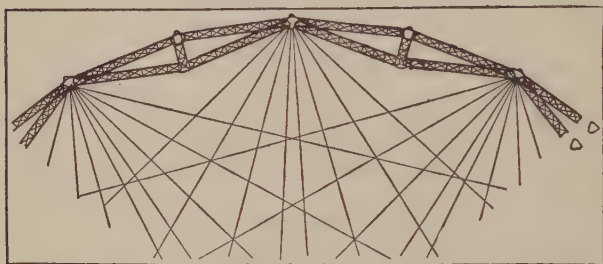


FIG. 56. — DISPOSITION D'UN ANNEAU PRINCIPAL

10 du ballon ou, si l'on préfère, l'armature qui assure sa rigidité;

2° Que les tendeurs en fil d'acier de ces anneaux créent, perpendiculairement à l'axe du ballon, de véritables compartiments. Ces compartiments ont une longueur de 15 quinze mètres; trois d'entre eux, pourtant, aux extrémités du dirigeable, n'ont que dix et onze mètres. C'est entre ces compartiments que sont logés les ballonnets gonflés d'hydrogène ou d'hélium.

Entre les anneaux principaux que nous avons signalés 20 plus haut, apparaissent, de cinq mètres en cinq mètres les anneaux intermédiaires, formés de poutres en treillis.

Les anneaux principaux sont constitués par deux longérons entretoisés par une contre-fiche (fig. 56). Les sommets des angles de ces anneaux sont réunis les uns aux autres, dans le sens de la longueur, par un armaturage longitudinal. Par ailleurs, les sommets des anneaux principaux et des anneaux intermédiaires sont reliés entre eux, diagonalement, dans le plan de la surface. Enfin, un réseau secondaire de fils d'acier, complété par un filet, sert de support aux cellules ou ballonnets à gaz et à l'enveloppe extérieure.

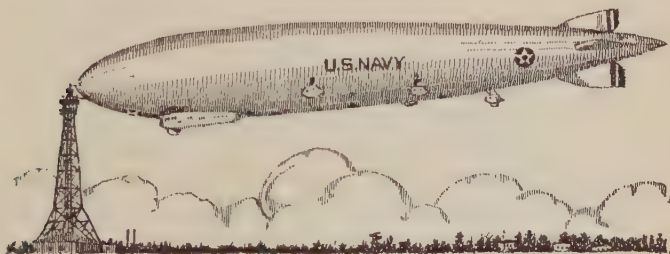


FIG. 57. — LE DIRIGEABLE « LOS ANGELES »

La partie inférieure de la charpente est renforcée, sur toute sa longueur, depuis le point d'ancrage (extrémité avant) jusqu'aux plans fixes arrière, par un poutrage creux, à l'intérieur duquel est ménagée une coursive ou couloir de quille, qui va d'une extrémité à l'autre de l'aéronef, en permettant de répartir entre les anneaux principaux la charge de l'appareil, et aussi d'assurer une communication permanente avec les divers organes.

La partie avant du dirigeable a été renforcée à la demande du gouvernement américain, pour pouvoir l'ancrer à des mâts d'amarrage. L'arrière supporte des stabilisateurs et le gouvernail (fig. 57).

L'enveloppe. — L'ensemble de la carcasse — courrive comprise — est recouvert d'un tissu de coton, dont l'épaisseur et la résistance dépendent de la destination des organes recouverts. Les lisières de chaque bande d'étoffe
5 sont renforcées par une doublure cousue, à l'intérieur de laquelle sont pris les anneaux d'agrafage, qui serviront à la fixation des bandes sur la carcasse. Le laçage de ces bandes est une opération délicate; il faut régler avec soin la tension de l'étoffe en tenant compte des variations que la
10 température et l'état hygrométrique de l'air feront subir à la carcasse recouverte. L'enveloppe est enduite de plusieurs couches de vernis cellulosiques, auxquels de la poudre d'aluminium est ajoutée, de manière que la partie superficielle de l'enveloppe reste absolument mate.

15 *Les ballonnets.* — Il y en a huit, qui sont placés, ainsi qu'il a été dit, entre les cloisonnements des anneaux principaux. L'étoffe qui les enrobe a été choisie en tissu de coton parce que ce tissu est solide. Mais pour qu'il y ait étanchéité absolue, on l'a doublé intérieurement d'une baudruche.

20 *Les nacelles.* — Tout d'abord, à l'avant du dirigeable, on trouve une nacelle principale pour le pilote et les passagers. Cette nacelle, placée directement au-dessous de la courrive, est reliée d'une manière rigide à l'ensemble de la carcasse. Cinq autres nacelles, disposées à l'arrière de la précédente,
25 portent les moteurs de propulsion. La forme de ces nacelles leur donne une résistance minima à l'avancement. Elles sont accrochées à l'aéronef au moyen de traverses rigides en tubes métalliques et de câbles souples. Une échelle, dont les éléments peuvent se replier sur eux-mêmes,
30 permet d'accéder à chaque nacelle.

Les Organes de Manœuvre, etc. (a) *Soupapes.* — Chaque ballonnet à gaz (à l'exception du ballonnet d'ex-

trème arrière, qui reste en communication avec celui qui le précède) est pourvu de soupapes de surpression, qui s'ouvrent automatiquement quand la pression intérieure du gaz ascensionnel dépasse une limite déterminée. Les plus gros ballonnets en ont deux. Le diamètre de ces soupapes 5 est de cinquante centimètres. Le gaz qu'elles évacuent monte dans des cheminées ménagées entre les ballonnets et se répand dans l'espace compris entre ces ballonnets et la partie supérieure de l'enveloppe générale. Cet espace est ventilé très efficacement au moyen de sept man- 10 ches à air, disposées de part et d'autre de l'aéronef.

Les huit ballonnets sont, en outre, pourvus de soupapes, commandées directement par le pilote au moyen de câbles.

(b) *Moteurs*. — Les moteurs ont été spécialement étudiés pour répondre aux services que doit rendre le ZR-3. 15 On s'est efforcé de leur donner une grande robustesse, d'augmenter leur sécurité de marche en même temps que leur durée, tout en leur conservant une consommation réduite. La vitesse de rotation de l'hélice a été déterminée en tenant compte, d'une part, de son rendement, qu'on 20 voulait aussi élevé que possible, et, d'autre part, du souci de n'interposer aucun engrenage entre le moteur et l'hélice, l'introduction d'un organe de ce genre devant nécessairement se traduire par une perte de vitesse et un accroissement sensible de poids, surtout si l'on avait voulu 25 lui donner la robustesse indispensable au service commercial du dirigeable.

Les quatre moteurs possèdent chacun douze cylindres accouplés en V. La mise en marche de ces moteurs s'opère au moyen d'un dispositif de lancement actionné par de l'air 30 comprimé.

(c) *Hélices*. — Les hélices propulsives sont placées di-

rectement dans le prolongement des moteurs, à l'extrémité arrière des nacelles motrices qui se terminent, dans cette région, par une pointe effilée. Elles ont un diamètre de 3 m. 70, un pas de 1 m. 70 et tournent à 1.400 tours à la minute (vitesse maxima). Elles sont en bois contreplaqué; les extrémités des pales sont protégées contre les chocs par des garnitures en tôle d'aluminium.

(d) *Combustible et lubrifiant.* — Le combustible liquide, du benzol normalement, est contenu en partie dans des réservoirs placés auprès des moteurs et, pour le reste, dans des soutes de réserve. Des pompes puisent le benzol dans les soutes, puis le refoulent dans les réservoirs disposés à l'aplomb des moteurs et dont la capacité unitaire est de 440 litres. Quelques-unes des soutes sont suspendues de manière à pouvoir être détachées aisément en cas de besoin ou de danger. D'autres peuvent être démontées et remplacées dans le cas d'un voyage de faible durée, par des réservoirs à lest liquide.

La répartition de l'huile de graissage est sensiblement la même que celle du benzol, mais le réservoir à huile correspondant à chaque nacelle motrice n'a qu'une contenance de vingt-cinq litres. Pour alimenter ces réservoirs, cinq soutes à huile sont prévues.

(e) *Gouvernails.* — Il y a quatre gouvernails, dont deux de profondeur et deux de direction. Les gouvernails, qui ont une surface de dix-sept à dix-neuf mètres carrés, sont placés à l'arrière. Leur manœuvre est commandée du poste de navigation.

(f) *Appareils de navigation.* — En ce qui concerne la navigation à l'estime (hors de la vue de la terre) on a prévu l'emploi du compas gyroscopique Anschütz qui permet d'indiquer les changements de cap de l'appareil avec une

approximation de l'ordre du dixième de degré, c'est-à-dire avec une précision qui autorise une sécurité satisfaisante.

Pour vérifier l'altitude, le pilote dispose d'un appareil gyroscopique Anschütz à horizon artificiel, qui fournit à chaque instant l'angle formé par l'axe du ballon et le plan 5 horizontal, avec une approximation qui est, elle aussi, de l'ordre du dixième de degré. Les données de cet appareil sont infiniment plus précises que celles fournies par le niveau à bulle commun.

Enfin, parmi les divers appareils de bord emportés par 10 le dirigeable, signalons un indicateur de vitesse d'un nouveau type, un appareil de mesure de la dérive et un appareil de détermination optique des pressions barométriques en cours de route.

(g) *Lest*. — Le lest, dans les zeppelins, n'est constitué 15 que par de l'eau additionnée de produits qui la protègent contre la congélation. Ce lest liquide est renfermé dans des sacs en tissu caoutchouté disposés de part et d'autre de la courbure. Douze de ces sacs (six à l'avant et autant à l'arrière) portent le nom de *pantalons d'eau*; ils ont cette 20 particularité de pouvoir — grâce à des commandes spéciales — se vider instantanément; ils contiennent, chacun, un quart de tonne d'eau. On utilise ces pantalons d'eau lors des manœuvres d'atterrissage, quand il est nécessaire de procéder à des déplacements rapides de l'équilibre de 25 l'aéronef.

Les réservoirs à lest, qui ne sont pas des pantalons d'eau, sont au nombre de treize. Ils ont une capacité d'une tonne et sont, comme les précédents, manœuvrés directement du poste de pilotage. 30

(h) *Installations radio-télégraphiques et téléphoniques; éclairage*. — Bien entendu, l'aéronef est pourvu d'un poste

de télégraphie et de téléphonie sans fil, et, comme c'est le seul moyen de liaison du dirigeable avec la terre, il est particulièrement soigné, tant au point de vue technique qu'en ce qui concerne sa construction.

- 5 Le poste d'émission a, sur mer, un rayon d'action de 2.500 kilomètres pour l'émission télégraphique et de 500 kilomètres pour l'émission téléphonique. Il est alimenté par un alternateur qu'une turbine à air actionne (la tension du courant basse fréquence fourni par cet alternateur
10 est élevée par des transformateurs; le courant résultant est redressé par deux lampes à vide pour l'alimentation du poste). L'alternateur et sa turbine sont montés à l'extérieur de la nacelle et à l'extrémité d'un support qui s'oriente de lui-même dans la direction d'où souffle le vent.
- 15 L'émission téléphonique se fait par ondes dont les longueurs peuvent varier entre 300 et 500 mètres. Afin de proportionner l'énergie dépensée à la distance à laquelle on désire transmettre, le poste comporte trois étages de puissance.
- 20 L'antenne, en éventail, est à trois brins de cent vingt mètres de longueur chacun. Les brins peuvent être enroulés ou développés, suivant les circonstances, au moyen de trois tambours conjugués.

L'appareil de réception comporte huit lampes pour la
25 détection et l'amplification en haute fréquence et deux lampes pour l'amplification en basse fréquence.

Les appareils d'émission et de réception sont installés dans une cabine protégée contre les bruits du dehors et parfaitement étanche, même au gaz qui pourrait fuir d'un
30 ballonnet. Cette cabine spéciale est placée immédiatement derrière le poste de navigation.

La dynamo excitatrice de l'alternateur du poste de

T. S. F., qui est calée sur le même arbre que la génératrice, procure tout l'éclairage du bord. En cas de défaillance, cet éclairage est assuré par une batterie d'accumulateurs. Enfin, l'excitatrice peut être, elle aussi, branchée sur cette batterie et fonctionner en moteur pour entraîner l'alternateur; de cette façon, le dirigeable peut encore, au repos, procéder à des émissions de T. S. F. 5

La nacelle du pilote est reliée au poste de veille par un téléphone muni d'un haut-parleur.

(i) *Emménagements*. — La visite des emménagements 10 est très intéressante. On distingue ceux de l'équipage et ceux des passagers.

Dans les locaux affectés au personnel du bord on remarque: la cabine du commandant, deux chambres d'officiers, six chambres de sous-officiers avec chacune deux lits, le 15 carré des officiers, et deux postes d'équipage avec tables et bancs. Tous ces locaux sont disposés de part et d'autre du long couloir de quille.

Les passagers — ils peuvent être au nombre d'une vingtaine — sont logés dans la nacelle principale, à l'arrière de 20 la cabine de navigation.

Cinq compartiments ont été prévus (trois à tribord, deux à bâbord) sur le modèle des wagons-lits. Dans chaque compartiment, il y a deux groupes de deux couchettes placées chacune l'une au-dessus de l'autre. Ces deux 25 groupes, qui sont orientés perpendiculairement à l'axe de l'aéronef, sont séparés par une tenture. Le jour, les couchettes de l'étage supérieur peuvent être transformées en sofas de repos, celles de l'étage inférieur devenant des fauteuils. On peut alors mettre, de plus, une table en place. 30 Chaque compartiment est aéré par une large baie vitrée. La cuisine se trouve aussi dans la nacelle principale. La

préparation des mets se fait au moyen d'un cuiseur électrique.

Les bagages, la poste et les marchandises sont disposés dans vingt compartiments répartis au-dessus du couloir de 5 quille; d'autres soutes sont réservées à l'emmagasiner des provisions, à la réserve d'eau potable, au matériel de rechange, etc.

Bien que construit par nos ennemis d'hier, le ZR-3 porte en lui trop d'espairs pour que nous songions un instant à 10 lui reprocher son origine. D'autre part, nous sommes heureux d'apprendre que nos amis américains, séduits par le raid heureusement réalisé, ont décidé de former des sociétés puissantes pour exploiter commercialement une ligne de dirigeables transatlantiques. Avec la décision et 15 l'audace de leur race, ils rêvent déjà d'une flotte et de ports pour des navires aériens du type ZR-3, qu'ils ont, d'ailleurs, débaptisé pour lui donner le nom de *Los Angeles*.

La Science et la Vie, Paris

XXXIX. L'Automobile a conquis le Désert

Ce qu'on a dit du rail, qu'on lui doit la conquête et la possibilité d'exploiter nos colonies, on le dira bientôt de 20 l'automobile. Cinq auto-chenilles Kégresse-Citroën se sont rendues, en vingt-et-une journées, de Touggourt à Tombouctou, par le Hoggar et le Tanezrouft, pays de la soif. Allant sinon à l'aventure, du moins à tâtons, le convoi explorait, étudiait la région que de rares caravanes, 25 marquant leurs traces d'ossements bientôt blanchis, osaient seules parcourir. Cet itinéraire, à travers le Sahara, n'était, en certains points, praticable qu'à des véhi-

cules munis d'un dispositif à chenilles souples; on vient d'en trouver un autre, passant par Colomb-Béchar, Adrar, Ouallen, Tessalit, Bourem, c'est-à-dire réunissant l'Algérie au Niger, plus court et ne mesurant que 1 900 kilomètres.

Cette nouvelle piste, en attendant qu'elle devienne route nationale, a été parcourue par deux caravanes rivales, et ce qui n'était qu'un raid d'exploration est devenu bientôt une

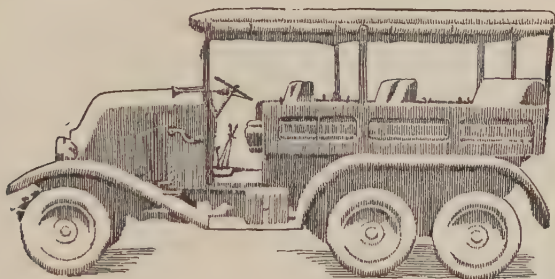


FIG. 58. — LA NOUVELLE AUTOMOBILE À SIX ROUES
QUI A TRAVERSÉ LE SAHARA

Montée sur douze gros pneus jumelés, cette voiture n'exerce qu'une très faible pression sur le sol par unité de surface, en même temps qu'elle réalise une très grande adhérence.

course de vitesse, les conducteurs des véhicules se relayant au volant jour et nuit sans arrêt. Bref, la distance fut franchie en six journées et six nuits, véritable record qu'aucune entreprise commerciale ne songera, d'ailleurs, à battre d'ici longtemps. Mais l'intérêt de ce deuxième raid, à travers l'Afrique désertique, ne réside pas tant dans la vitesse réalisée que dans la découverte que cet itinéraire est accessible aux voitures automobiles non munies de chenilles, mais simplement portées par des roues. De

Colomb-Béchar à Adrar, en effet, le terrain est constitué par un sable dur, assez roulant, mais jonché de gros cailloux; d'Adrar à Tessalit, le sol devient meilleur, l'erg se déroule sans aucune élévation de terrain; après, jusqu'à
5 Bourem, sur le Niger, c'est le sable fin, friable, où croît une herbe haute et sèche.

La reconnaissance a donc été faite en même temps par des auto-chenilles, déjà connues, marchant en éclaireurs, et par trois voitures Renault, d'un modèle nouveau, conduites par M. Gradis, chef de la mission, et MM. Georges
10 et René Estienne, fils du général Estienne, qui avait déjà exploré lui-même, en auto-chenille, une partie de cette région.

Les voitures de cette mission étaient munies d'un moteur de 10 chevaux, dont la consommation, relativement
15 faible, permet de réduire l'approvisionnement indispensable pour tout le trajet. La carrosserie comporte trois banquettes, face à la route, sur lesquelles six personnes peuvent aisément trouver place. Avec équipage, accessoires et approvisionnement, l'ensemble pèse 2 600 kilo-
20 grammes. Pour répartir ce poids sur le sol de façon à éviter l'enlèvement du véhicule, on a adopté un dispositif spécial qui a permis de multiplier les points d'appui, ainsi que l'adhérence. Au lieu d'un seul essieu moteur, le châssis en compte deux à l'arrière, formant bogie, pouvant
25 prendre des positions transversales très différentes, afin d'épouser facilement les dénivellations du terrain. Sur la transmission, entre le moteur et les différentiels, est intercalé un démultiplicateur, qui permet de réduire encore la
30 vitesse et d'affronter ainsi les plus dures rampes. Ce sont donc des voitures à six roues, dont quatre motrices. Chacune de ces roues comporte deux pneumatiques jumelés

que l'on gonfle peu et qui, reposant sur une plus grande surface grâce à leurs douze points de large contact, travaillent en quelque sorte d'une façon analogue à celle de la chenille.

La Science et la Vie, Paris

XL. L'Industrie automobile française

Chaque année le Salon de l'Automobile est l'occasion de 5
marquer une nouvelle étape du progrès constant de notre industrie. Autrefois ce progrès se manifestait volontiers par tâtonnements et par bonds; aujourd'hui son mouvement est sûr, graduel, continu. On ne saurait attendre de bouleversements imprévus; mais on enregistre des améliorations sérieuses. 10

L'activité de nos bureaux d'études se concentre sur la recherche de perfectionnements de détails utiles et précis, plutôt que vers des nouveautés d'avenir incertain.

Un attentif travail de sélection s'opère qui élimine des 15
mécanismes les exécutions les moins satisfaisantes.

Le progrès: c'est une pièce d'un dessin plus simple et plus heureux, d'une forme répondant à un usinage moins coûteux, à une meilleure utilisation de la matière, à l'emploi d'un métal plus léger. C'est un complément ajouté 20
à l'organe que l'expérience révèle insuffisant pour assurer tous les besoins de sa fonction. C'est un équipement rendu plus complet, une installation mieux prévue pour donner plus d'agrément et de confort.

Un point très important de la construction du moteur 25
moderne à grande vitesse de rotation, sur lequel tout le monde est maintenant d'accord, est l'intérêt d'avoir des

- pièces en mouvement légères et parfaitement équilibrées. Non seulement de telles pièces sont indispensables pour permettre au moteur de tourner vite et de réaliser des accélérations rapides, mais, de moindre poids elles ont
- 5 aussi moins d'inertie et fatiguent moins les cylindres et les coussinets. C'est la raison pour laquelle nos moteurs actuels font un service beaucoup plus long, sans nécessiter de révision, que nos vieux moteurs lents que l'on pensait néanmoins imbattables quant à la durée et à la robustesse.
- 10 L'accord est moins complet sur le sujet de la distribution. Le moteur à soupapes droites latérales est plus simple, moins coûteux, plus rustique; le moteur avec arbre à cames en tête peut, à cylindrées égales, être plus puissant, plus nerveux, mais sa fabrication est assez onéreuse, son
- 15 graissage plus compliqué et il est difficile de le rendre silencieux; le moteur à culbuteurs est un compromis entre les deux; quant au sans soupapes, il ne le cède en rien, au point de vue de sécurité et de rendement, au meilleur moteur à soupapes.
- 20 Le graissage sous pression a beaucoup de partisans. Cependant le graissage à barbotage à niveau constant a ses fidèles. Un progrès de détail de très grande influence vient du soin apporté maintenant par nombre de constructeurs à l'épuration de l'huile de circulation par la force
- 25 centrifuge. Des moteurs ainsi équipés peuvent faire 50.000 kilomètres et plus, sans que l'on ait à toucher aux coussinets des têtes de bielles. Toutes les fines impuretés, en suspens dans l'huile, qui ont pu s'échapper des filtres habituels à toiles métalliques, sont éliminées de la circulation, et ce sont elles qui rongent si vite et si activement
- 30 les surfaces frottantes.

La carburation a été travaillée de main de maître par nos

spécialistes. Études des appareils, études des tuyauteries font autorité même à l'étranger. Notons la mise au point de filtres bien conçus et facilement adaptables. Souhaitons que, quelque jour, nos constructeurs qui ont à leur disposition des appareils pratiques, prennent l'habitude de 5 les considérer comme complément du carburateur.

La boîte de vitesses séparée a presque complètement disparu. Le bloc-moteur rallie le plus grand nombre, mais le pont-boîte est défendu par de très grands noms. Tous deux facilitent l'usinage et le montage, réduisent le nombre 10 des joints de transmission et donnent un ensemble net et élégant.

Pour l'embrayage: le disque unique à garnitures plastiques semble monopoliser cette fonction. Simple, rustique, de faible inertie, assurant donc des manœuvres faciles des 15 baladeurs, il faut lui reconnaître des mérites; il s'harmonise, d'ailleurs, fort bien avec la disposition du bloc-moteur.

L'innovation des gros pneus à basse pression visait l'application à la voiture légère. Le 115 et le 130 se multi- 20 plièrent vite: l'un sur la deux places, le second, sur les 10 C.V. On gagne nettement avec le gros pneu, en confort et en vitesse moyenne. D'ailleurs la faveur s'affirme et nous voyons les maisons les plus réputées livrer leurs châssis sur les gros pneus. Certaines sortent montées sur 25 des 775 × 145.

Nous rencontrons le freinage sur les quatre roues sur presque toutes les voitures, de la plus petite à la plus puis- 30 sante.

Le bon accord qui règne entre les spécialistes d'accès- 30 soires et les constructeurs de châssis a contribué à rendre correct, pratique, souvent même très plaisant, le montage

des accessoires sur la voiture. Instruments de bord, projecteurs, pare-brise, supports de roues de rechange, ont leur place prévue, leur installation préparée.

Pour les carrosseries, nous rencontrons le même souci
5 de présentation. Une étude très habile a été faite par Peugeot dans l'établissement de la carrosserie torpédo de sa 18 C.V. en vue de réduire les résistances à l'avancement, dont l'influence est prépondérante aux grandes vitesses. La silhouette générale de la voiture reste néanmoins de
10 facture classique. Les ailes pivotant avec les roues avant, la pointe arrière aménagée en logement spacieux pour les outils et les roues de rechange, tous les angles de la caisse arrondis, toutes les lignes fuyantes forment un ensemble très réussi.

15 On élargit et on allonge les châssis. Les carrossiers auront moins de difficultés pour les bien habiller, et les passagers y seront mieux à l'aise.

Voici le torpédo à quatre places confortables installé sur des châssis équipés de moteurs de moins d'un litre de
20 cylindrée. Nulle innovation n'est mieux faite pour hâter le développement de la voiture populaire accessible au plus grand nombre.

Omnia, Revue pratique de l'Automobile, Paris

NOTES

NOTES

Page 4. — 8. c'est à faire . . ., *it is enough to make . . .*

Page 6. — 1. intérêt à ce qu'il y ait des savants qui . . ., *interest in there being scientists who . . .*

Page 8. — 3. s'y consacrer, *to devote himself to them*, i.e., les sciences physiques et naturelles. Note that y stands here for a noun governed by à, the verb being se consacrer à.

Page 9. — 21. Il y travaillait, *He worked at them*, i.e., ses recherches scientifiques.

24. qu'avaient fait naître; notice the inverted order after que, common in relative clauses where emphasis is desired; the subject of avaient fait is études and méditations.

Page 11. — 12. 50.000; notice that in French either a small space or a point is used instead of a comma in spacing whole numbers.

26. nouvelles mesures, i.e., the metric system, which in 1790 the Constituent Assembly ordered the Academy of Sciences to develop.

29. les hommes de 93, the so-called Committee of Public Safety, which exercised absolute power during the Reign of Terror.

Page 12. — 3. il se fit un point d'honneur, *he made it a matter of honor*.

14. à eux tous, *all of them together*; translate as in apposition with les juges.

Page 13. — 21. oxyde de mercure; this is red oxide of mercury or mercuric oxide (HgO); see poudre rouge below, in line 24.

Page 14. — 22. *y*, *in it*, i.e., in oxygen. In general, *y* stands for a noun governed by *à*, *dans*, *en*, *sous*, etc.

32. *à ce que*, *by the fact that*.

Page 15. — 26. *des corps beaucoup moins bons conducteurs que les métaux*, *bodies conducting electricity much less readily than metals*.

30. *les travailler au marteau*, etc., *working them with the hammer*, etc.

Page 17. — 18. *que le ballon*; notice that *quand* is replaced by *que*. *Que* may be used to replace any subordinating conjunction without changing the construction, except in the case of *si*; if *que* stands for *si*, the subjunctive must be used.

Page 18. — 32. $\frac{12}{32}$; read: *douze sur trente-deux*.

Page 19. — 12. *entre elles*, *with respect to each other*.

Page 21. — 9. 150 cm³; read: 150 centimètres cubes, 150 cubic centimeters.

Page 22. — 11. *quand il peut y avoir confusion*, *when there might be confusion*; *y avoir* is the infinitive of the more familiar *il y a*, the *il* of which is here the grammatical subject of the auxiliary *peut*.

12. *prise dans le nom*, *taken from the name*.

Page 23. — 1. *impossible de s'y reconnaître*, *impossible to make them out*, i.e., the symbols.

13. H²O; read: *ache deux o*, without liaison.

Page 24. — 10. Cl²Sn; notice the difference between the French and English usage in that in the French formula of a salt, the symbol of the metal usually comes last.

29. SO³H²; notice that the replaceable H of an acid appears last in the French formula; compare note above.

Page 25. — 15. *c'est l'usage seul qui permet de se familiariser avec ce mécanisme*, *it is practice alone which enables you to become familiar with this mechanism*; the substantive complement of *permettre* is often understood; in such cases it usually facilitates translation to supp'y a complement in the form of an indefinite pronoun, *one* or *you*.

22. *il ne viendrait à personne l'idée*, *the thought would never occur to anyone*.

Page 29. — 5. *et leur prennent du soufre*, *and take sulfur from them*.

12. *les $\frac{9}{10}$* ; read: *les neuf dixièmes*.

Page 30. — 4. *170°*; temperature is always Centigrade in French publications, unless otherwise specified.

Page 31. — 6. *Il en est de très bien définies*, *There are some very well defined ones*, i.e., allotropic varieties.

21. *il peut aussi n'être pas net*, *it may also not be sharply defined*.

Page 32. — 1. *Il est à noter*, *It is to be noted*.

4. *d'autant plus (or moins) . . . que . . . plus (or moins)*, *all the more (or less) . . . as (or in proportion as) . . . more (or less)*; an expression of proportion, important in scientific French, which can be rendered as above, or by reversing the two elements as follows: *the more (or the less) . . . the more (or the less)*. The word *more* does not necessarily occur in the English sentence, as many comparatives are formed with the suffix *-er*. The sentence in this line can be translated: *it becomes all the more fluid, in proportion as its temperature is higher*; or, *the higher its temperature is, the more fluid it becomes*. In this particular sentence, *et cela d'autant plus (and that all the more)* is equivalent to *d'autant plus fluide*. — *d'autant plus (or moins) . . . que*, not followed by a second comparative should be rendered: *all the more (or less) . . . because*.

6. *8, 8*; read: *huit et huit dixièmes*, or *huit virgule huit*; notice that, in French, a comma replaces the decimal point; compare note to page 11, line 12.

28. 1; read: *premièrement*.

32. 2; read: *secondement*.

Page 33. — 31. *chlorure de soufre*; there are three chlorides of sulfur: the monochloride S_2Cl_2 , the dichloride SCl_2 , and the tetrachloride SCl_4 . The yellow liquid is the monochloride.

Page 34. — 28. *Tout en conservant au caoutchouc la souplesse et l'élasticité*, *While preserving in the rubber its flexibility and elasticity*.

Page 38. — 9. *le brut y est refoulé*; *the crude oil is forced in them*, i.e., the pipe lines. For the value of *y* see note to page 14, line 22.

Page 39. — 13. *pétrole lampant de sûreté pour les lampes de signaux de chemin de fer*, i.e., signal oil.

16. *le combustible pour moteurs Diesel et semi-Diesel*; this is gas oil, for which there is no specific name in French.

Page 40. — 7. *le vase évaporatoire*, i.e., *la chaudière*.

Page 41. — 3. *fraction essence*, *gasoline fraction*; notice that in a combination of nouns like this, it is the second noun that is used adjectively. — *les faisceaux*, i.e., the groups of tubes of the fractionating column.

18. *éprouvette, lanterne vitrée*; notice that these two expressions, and *regard vitré* in line 22 below, all mean the same thing: *glass gauge, watch box*.

Page 42. — 13. *dissolution, fractional distillation*, whereas in line 11 above, *dissolution* means *solution*.

Page 43. — 16. *épuration à l'acide sulfurique*, *purification with sulfuric acid*.

26. *de même*, *likewise*, i.e., by operating the agitator again.

26. *une lessive alcaline*; this is a solution of caustic soda.

Page 44. — 14. au moins aussi bien que l'acide, i.e., au moins aussi bien que le fait l'acide.

28. de tous les instants, *constant*.

Page 49. — 17. la mise au point des perfectionnements, *the carrying out of improvements*.

Page 51. — 19. discussions restées célèbres; these debates were held in the Academy of Sciences in 1830. Cuvier considered each species as the fixed and invariable product of a single creation, without possible passage from one to another through generation.

Page 57. — 5. qui se succèdent, *which follow one after the other*.

Page 63. — 25. 1 500°; see note to page 11, line 12.

Page 70. — 24. au fur et à mesure de leur rencontre, *as they are met*.

Page 72. — 20. de 0,50 à 1%; read: de un demi à un pour cent; see note to page 32, line 6.

Page 82. — 30. 100:6::12.000:x; read: 100 est à 6 ce que 12.000 est à x.

Page 85. — 19. mener; the infinitive is often used for the imperative in public signs, in directions on the use of medicines and in directions and references in books, when the command is addressed to readers in general. This use is particularly common in geometry texts.

Page 86. — 31. M'; read: M prime.

Page 88. — 24. être le sommet d'un angle droit, etc.; because a tangent is perpendicular to the radius drawn to the point of contact.

30. le cercle décrit sur AO comme diamètre; ABO is a right angle, because it is an inscribed angle measured by one half a semi-circumference.

Page 89. — 5. Construire; see note to page 85, line 19.

9. et la figure s'achève aisément, i.e., first, the triangle is constructed with the two non-parallel sides and a line the length of which is the difference of the two parallel sides. The parallelogram is then added to the triangle.

12. si nombreux qu'ils fussent, *however numerous they might be.*

Page 91. — 4. d'une longueur h , a distance h .

6. $U = F \times h$; read: U est égal à F (multiplié) par h .

8. qu'un moteur fasse . . . ; que replaces si; for the subjunctive fasse, see note to page 17, line 18.

Page 92. — 7. 10^7 ergs; read: dix puissance sept ergs, or dix à la septième ergs. — 9,81 joules; read: neuf virgule quatre-vingt-un joules.

29. $W = \frac{U}{t}$; read: W est égal à U sur t .

Page 95. — 19. A cheval or cheval-vapeur is a little less than a horsepower; while the cheval is defined as 75 kilogrammeters per second, the horsepower is defined as 550 foot-pounds per second, i.e., 75.9 kilogrammeters per second. A cheval is equal to 736 watts, a horsepower to 746 watts. This distinction was agreed upon by the Electrotechnical Convention at Chicago in 1893. Translate: *metric* or *French horsepower*. Even the abbreviation H.P. usually stands for metric horsepower, i.e., **cheval** in French publications.

Page 97. — 4. la puissance W que transmet le premier, etc., i.e., the input.

5. la puissance W' que reçoit le second, etc., i.e., the output. — W' ; read: double vé prime.

Page 99. — 23. 100 m^2 ; read: cent mètres carrés, a *hundred square meters*.

29. 60 p. 100; read: soixante pour cent.

Page 100. — 18. de 700 centimètres carrés de surface; obtained by multiplying the square of one half of 30 by π .

Page 101. — 4. R_1 ; read: R un.

12. un espace entièrement clos, vide d'air, i.e., vacuum chamber.

Page 103. — 10. la détente est au dixième, *the cut-off is set at ten per cent of the stroke*.

25. lui reste notablement supérieure, *remains considerably higher than it*, i.e., atmospheric pressure.

Page 104. — 24. 1 m. 70; read: un mètre soixante-dix (centimètres); the name of a measure sometimes replaces the comma in French to separate decimals from whole numbers; the period in this case is used because of the abbreviation of the word mètre; this expression could be written: 1 mètre 70; compare note to page 32, line 6.

Page 106. — 19. une course complète (aller et retour), *a complete backward and forward motion*; course in this case obviously does not mean *stroke*.

Page 108. — 5. d'elles-mêmes, *by themselves*.

6. la vitesse intervient dans la force vive par son carré, *velocity is squared in its relation to kinetic energy*, i.e., the kinetic energy of a particle equals one half its mass times its velocity squared.

9. les machines qui servent à écraser les pierres sur les routes, i.e., steam-rollers.

22. Interviennent; the subjects of this verb are piston, appareil d'allumage and distribution. Such inversion of subject and verb is quite common in enumerations and in official style.

Page 109. — Fig. 15. Cycle à quatre temps, *a cycle of four cycles*; to avoid the repetition of the word *cycle* in English, it might be better to translate this expression by *four-cycle period* or *cycle of four strokes*.

Page 110. — 13. de 1 dm³,200; read: de un virgule deux (cents) décimètre cube.

Page 114. — 20. 4 fois à 4 fois $1/2$; read: quatre fois à quatre fois et demie.

32. dispositif d'obturation, *closing device*, i.e., valve.

Page 117. — 17. Ce jeu doit... pour obtenir la hauteur de levée, *This play* (of a fraction of a millimeter) *must obviously be deducted from the height of the projection of the cam in order to find out how far the valve rises from its seat.*

20. correspondant, *compared with.*

Page 118. — 7. engrènent entre elles, *are in gear with each other.*

25. plus de soupapes, etc., *no more valves, etc.*

Page 119. — 18. le gaz carburé, i.e., the mixture from the carburetor.

Page 120. — 31. à des régimes élevés, *at high rates of speed as a normal performance.*

Page 121. — 2. d'un quart, *by a quarter*; degree of difference, expressed in English by *by*, is expressed in French by *de*.

Page 123. — 29. cônes métalliques, etc.; this was the so-called scroll regulator.

Page 125. — 11. 0 m. 50; read: zéro mètre cinquante (centimètres).

Page 129. — 5. pivot in this case means *suspension bearing*.

Page 130. — 4. libre déviation, *free deviation*, i.e., freedom for the water after leaving the guide passages to follow its own course in one direction, and during its transit through the wheel to be at all times under atmospheric pressure only.

Page 135. — 12. se contrarient ou se complètent; notice the reciprocal use of the pronoun.

Page 138. — 4. à l'usine d'aval, *at the plant down stream*, i.e., at the tide-motor plant.

Page 140. — 22. fils d'Ampère; Jean-Jacques Ampère (1800-1864), a noted historian and man of letters.

Page 142. — 7. Point n'est besoin = Il n'y a pas besoin.

8. l'observateur d'Ampère, also called le bonhomme d'Ampère is the device used in France by physicists to indicate the relation between the directions of an electric current and of the lines of force linked with it; it is the equivalent of the thumb-and-finger rule used in America.

24. direction et sens; the same distinction is usually made by physicists in English between the words *direction* and *sense*; see page 151, lines 28 and 30.

26. la loi élémentaire; the law of force between elements of a circuit or between an element of a circuit and a magnetic molecule.

30. ces trois hypothèses; hypotheses current at that time on the cause of electromagnetic phenomena; the first of these hypotheses assumed the existence of two fluids called austral and boreal, so distributed as to produce the law in question; the second considered a magnet as a group of electric currents turning around its particles and acting upon the electric currents of another magnet or upon those of a wire; the third supposed an original elementary action to exist between a small length of wire and a magnetic molecule, tending to make the molecule turn around the wire and the wire around the molecule. Cf. Ampère's *Mémoire sur l'action mutuelle d'un conducteur voltaïque et d'un aimant* (1826), published in vol. 3 of *Mémoires relatifs à la Physique*, Paris, 1887 (p. 225 ff.).

Page 145. — 13. en projetant la limaille d'un peu haut, *holding the filings rather high*.

Page 146. — 1. elle se place toujours tangentiellement à la ligne, *it always places itself tangent to the line*; such phrases as *tangent to*, *parallel to* and *perpendicular to* are usually expressed

in French by the corresponding adverb, except when used after the verb être.

Page 148. — 12. Sens d'une ligne de force; see note to page 142, line 24.

Page 153. — 2. règle d'Ampère; see note to page 142, line 8.

Page 154. — 31. qu'il regarde à l'intérieur ou à l'extérieur du circuit, *whether he looks toward the inside or the outside of the circuit*; que stands for si or soit que, and regarde is subjunctive.

Page 155. — 22. qu'ils soient produits par des aimants ou par des courants; see preceding note.

Page 162. — 19. comparer; see note to page 85, line 19.

22. Le bonhomme d'Ampère; see note to page 142, line 8.

Page 166. — 8. d'en faire tenir un plus grand nombre sur l'anneau, *to make a larger number of them fit on the ring*.

15. de 10 en 10 spires, *every ten turns*.

Page 168. — 14. et que l'on y plonge, etc., *and if you dip in it, etc.*; see note to page 17, line 18.

23. (pôle -); read: pôle négatif; (pôle +); read: pôle positif.

Page 169. — 1. les couches de peroxyde de plomb et de plomb, i.e., les couches de peroxyde de plomb et celles de plomb spongieux.

20. à l'intérieur du vase, *on the inside of the vessel*; the complement of va is à l'anode, in line 22 below.

Page 180. — 16. viennent chercher auprès de lui, *come to get from him*.

Page 188. — Fig. 37. Elles sont modulées par elles, i.e., celles-là sont modulées par celles-ci.

Page 190. — 23. La mise en pratique, etc.; à la radiotéléphonie is the indirect object of *faire*, and *des progrès* is the direct object of *accomplir*. If both the causative *faire* (*to have, to make, to cause*) and its dependent infinitive have objects, the object of *faire* must be indirect. Translate: *The putting into use a few months before the war of numerous types of three-element vacuum tubes was destined to make radiotelephony accomplish great progress in a few years.*

Page 191. — 14. La mise au point, etc.; same construction as above.

Page 192. — 6. les grains de charbon se soudent entre eux; the grains are not actually fused; what happens is better expressed as follows: *arcs are formed between the grains.*

23. par « tout ou rien », *fully or not at all, at full power or not at all.*

25. dans l'intervalle des signaux Morse, i.e., in the spaces between the dots and dashes.

Page 193. — 1. l'onde qui la porte, i.e., the carrier-wave.

Page 203. — 16. au triple point de vue suspension, etc., i.e., *au triple point de vue de suspension, etc.*

Page 206. — 30. évaluer la tension efficace alternative, *to estimate the effective value of the alternating voltage.*

Page 210. — 11. avec un induit et un collecteur, *with one armature and one commutator.*

Page 212. — 28. Le Prince de Galles; the prince who became Edward VII in 1901.

Page 220. — 2. de plus de l'épaisseur, *by more than the thickness*; *de* is used instead of *que* to translate *than*, before a numeral or a noun denoting quantity.

Page 221. — 15. à l'échelle du 10 000^e, *on a scale of 1:10,000.*

Page 226. — 30. par un réseau de distribution local; this could read equally well: par le courant d'un secteur.

Page 232. — 6. de 3 m. 03; read: de 3 mètres 3 centimètres.

Page 236. — 29. sur toute la hauteur de l'arc, *across the whole top of the arch* (parallel with the river bank).

Page 238. — 14. un aspect des plus pittoresque, *a very picturesque appearance*; pittoresque is singular to agree with aspect, while des plus is practically equivalent to très; for this construction, see F. Brunot, *La Pensée et la Langue*, Paris, 1922, p. 692.

Page 240. — 2. grandes Compagnies, i.e., the railroad companies.

14. grands réseaux; see foregoing note.

Page 243. — 14. On a été jusqu'à prétendre, *Some have gone so far as to claim*.

15. 50 p. 100; read: cinquante pour cent.

Page 246. — 3. la distance du rail au sol descend à 6 m. environ; au sol, i.e., à la surface du sol. Besides, it would be better to reverse the positions of sol and rail in translating into English, thus: *the distance from the surface of the ground to the rail reaches down into the ground about 6 meters*.

Page 250. — 25. on a fait décrire à la voie ferrée un cercle; the complement of faire is à la voie, while the complement of décrire is cercle; see note to page 190, line 23.

Page 252. — 4. centre d'études physiques et biologiques des plus importants, *one of the most important centers of physical and biological research*; compare note to page 238, line 14.

Page 256. — 27. Soddy; quoted from *The Interpretation of Radium*, by Frederick Soddy, New York, 1922, p. 79.

Page 257. — 13. au-dessous de -150° ; read: au-dessous de moins 150 degrés or au-dessous de 150 degrés au-dessous de zéro.

Page 269. — 16. $4/100^{\circ}$ de millimètre, i.e., la quatre centième partie d'un millimètre.

Page 271. — 11. Il n'est pas d'exemple que l'habitude n'ait tué les plus beaux enthousiasmes, *There is no case on record in which continued practice has not killed the finest enthusiasm.*

Page 272. — 18. M. Lauste; the American inventor de Forest developed this device at about the same time and independently.

Page 275. — 3. 0,002 centimètre; read: zéro virgule zéro zéro deux centimètre.

16. de 4 à 5 000, i.e., de 4 000 à 5 000.

20. harmoniques; this is not the noun, which is masculine, but the adjective modifying oscillations, understood. However, it may be translated by *harmonics*.

Page 279. — 10. Si nombreuses que . . ., *However numerous . . .*

Page 289. — 3. s'effaçant progressivement dans le lit du vent, *gradually coming up into the wind or flattening itself in the teeth of the wind*; i.e., the wheel seeks the position in which its plane would be parallel to the direction of the wind.

Page 293. — 26. 100 mètres de haut, *100 meters in the air.*

Page 294. — 9. premier Congrès Expérimental d'Aviation sans Moteur; this took place at Combegrasse in Auvergne in 1922.

Page 295. — 24. 35 kg. 900; read: trente-cinq kilogrammes neuf cents grammes.

25. au C.V., *per horsepower.*

Page 296. — 29. point n'est besoin; see note to page 142, line 7.

Page 297. — 23. premières heures, *early days*.

Page 298. — 14. faire du 140 à l'heure, *make 140 kilometers an hour*.

Page 299. — 7. m³; read: mètres cubes.

Page 300. — 9. 1°; read: primo.

12. 2°; read: secundo.

13. perpendiculairement; see note to page 146, line 1.

20. de cinq mètres en cinq mètres, *every five meters*.

Page 301. — 7. dans le plan de la surface, i.e., in each of the faces of the polyhedra thus formed.

Page 302. — 10. feront subir à la carcasse; carcasse is the object of feront, que (in line 9) is the object of subir; see note to page 190, line 23.

Page 303. — 28. Les quatre moteurs possèdent chacun douze cylindres accouplés en V, i.e., the four motors are twelve-cylinder V-shaped motors.

Page 304. — 1. dans le prolongement des moteurs, *at the end of the motors*, i.e., behind the motors.

Page 305. — 14. en cours de route, *while flying*.

27. les réservoirs à lest, qui ne sont pas des pantalons d'eau; these are called permanent water ballast bags; they discharge so many pounds of water per second and their flow is checked by a stop-watch.

31. radio-télégraphiques et téléphoniques; radio is understood with téléphoniques.

Page 306. — 9. courant basse fréquence, *low frequency current*.

14. de lui-même, *of its own accord*.

26. basse fréquence, *audio frequency*, which would not be correct for line 9 above.

Page 313. — 20. Le 115, i.e., Le pneu de 115 mm. This is the thickness of the tire from wall to wall.

21. les 10 C.V., i.e., les voitures à 10 C.V.

26. des 775 × 145, i.e., des pneus de 775 mm. sur 145 mm.; 775 mm. is the diameter of the outside circumference.

Page 314. — 10. Les ailes pivotant avec les roues avant, i.e., in steering.

19. moteurs de moins d'un litre; since the litre is the unit of volume (1 cubic decimeter), it is commonly used in France to designate the approximate size of the cylinders of an engine instead of the more specific measurement of the bore and stroke.

VOCABULARY

Adjectives identical in form and meaning in French and English, as well as adverbs formed regularly and presenting no difficulty in meaning, have been omitted. Irregularities in pronunciation are indicated in brackets.

A

a *see* **rayon**

abaisser to lower, drop; **s'**—, fall

abandon *m.* abandonment

abandonner to leave, abandon, give up

Abbas-Pacha (1813-54) *viceroi of Egypt, grandson of Mehemet Ali*

abbé *m.* abbé, abbot

abréviation *f.* abbreviation

Aber-Vrac'h *small stream about 20 miles long in the north-west of the department of Finisterre, emptying into the Atlantic*

abolition *f.* abolition

abondant abundant

abord *m.* approach; **d'**—, at first; **tout d'**—, first of all

aborder to approach

aboutir to end, terminate

abrégé to abbreviate, shorten

abri *m.* shelter; **à l'**— **de** protected from; *see* **mettre**

abriter to shelter, protect

absence *f.* absence

absolu absolute; *see* **valeur**

absorber to absorb

abstraction *f.* abstraction; *see* **faire**

abstrait abstract

absurde absurd

absurdité *f.* absurdity

académicien *m.* Academician; *adj.* of the Academy

académie *f.* academy; **Académie des Sciences** Academy of Sciences (*one of the five Academies of the Institut de France, founded in 1666 for the study of mathematics, physics and chemistry*)

académique academic, of the Academy; *see* **éloge**

accalmie *f.* lull

accéder to arrive, enter

accélération *f.* acceleration

accélérer to accelerate

accès *m.* access, entrance

accessoire *m. & adj.* accessory

accident *m.* accident; unevenness

accidenté uneven, rough

accidentel accidental

acclamation *f.* acclamation

accoler to place side by side, place against each other

accommoder to adapt

accompagner to accompany

accomplir to accomplish

accord *m.* agreement; **d'**—, in union, agreed

- accorder** (s') to agree
accoupler to connect, couple
accrocher to hook
accroissement *m.* increase
accroître (s') to increase
accumulateur *m.* storage battery, storage cell
accumuler (s') to accumulate
accusateur *m.* accuser
accusé *m.* prisoner, accused;
adj. pronounced, marked
accuser to show
acétone *m.* acetone
acétylène *m.* acetylene
achat *m.* purchase
acheminer to send, forward
acheter to buy
achèvement *m.* completion
achever to finish, complete
achoppement *m.* obstacle; *see* pierre
acide *m.* & *adj.* acid; — **sulfhydrique** hydrogen sulfide; — **carbonique** carbon dioxide; *see* anhydride
acidification *f.* acidification
acidité *f.* acidity
aciduler to acidulate, render acid
acier *m.* steel; — **au creuset** crucible steel
à-coup *m.* jerk, sudden stop
acquérir to acquire
acquisition *f.* acquisition
acte *m.* act
acteur *m.* actor
actif active
actinium [-i-əm] *m.* actinium
action *f.* action; *see* **mettre**, turbine
actionner to drive, run, work
activité *f.* activity
actuel present, present-day
actuellement at the present time, now
adapter to adapt
addition *f.* addition
additionner to supplement, mix
Aden [-ən] *English fortress on the gulf of the same name at the southwest corner of Arabia*
adepte *m.* adept
adhérence *f.* traction
adhérer to adhere, stick
adjoindre to join, attach
adjonction *f.* addition
admettre to admit
administrateur *m.* administrator, director
admirer to admire
admission *f.* admission; admission passage, intake
adonner (s') to devote oneself
adopter to adopt
adoption *f.* adoption
adresser (s') to have recourse
adulte adult
A. E. F. = Afrique-Équatoriale française
aérer to air, ventilate
aérien overhead, elevated; aerial, air; *see* **croiseur**
aérodynamique aerodynamic
aéro-électrique aero-electric
aéronef *m.* airship, aircraft
affaiblir (s') to become weak
affaiblissement *m.* weakening, lowering
affaire *f.* affair, matter; *pl.* business; *see* **avoir**, **chiffre**
affecter to allot, provide, attach; affect, assume

- affectueux** affectionate
affinage *m.* refining
affirmatif affirmative
affirmer to affirm, state
affluence *f.* crowd
afflux *m.* rush
affranchir to free, release
affronter to face
afin: — *de* to, in order to;
 — *que* in order that
Afrique *f.* Africa; — **Équatoriale française** French Equatorial Africa; — **Occidentale française** French West Africa
Ag = argent
âge *m.* age
agent *m.* agent
agglomération *f.* community
a(g)glutiner to agglutinate;
 s'—, stick together
aggravant aggravating
agir to act; **il s'agit de** it is a question of
agitateur *m.* stirrer, agitator
agiter to stir, shake
aglutiner *see* agglutiner
agrafage *m.* hooking, attaching
agrandir to increase, enlarge;
 exalt
agrément *m.* charm, attraction, pleasure
agricole agricultural, farm
agriculteur *m.* agriculturist
agriculture *f.* agriculture
aide *f.* aid, help; **à l'— de** by means of; *m.* aid, assistant
aider to help
aiguille [*u sounded*] *f.* needle; hand; switch; — **aimantée** magnetic needle; — **à coudre** sewing needle; *see* **sens**
aile *f.* wing, plane; mud-guard
ailette *f.* fin; flange
ailleurs elsewhere; **d'—**, besides, furthermore, though;
 par —, besides
aimant *m.* magnet; *see* **pierre**
aimantation *f.* magnetization
aimer to magnetize; **s'—**, become magnetized; *see* **barreau**
ainsi thus, in this way; — *que* as; as well as; **et — de suite** and so forth, and so on;
see **être, dire**
air *m.* air; — **chaud** hot-blast;
 see **arrivée, compresseur, manche, turbine, vide**
aire *f.* hearth, sole (*of a furnace*); area
aise *f.* ease; **mieux à l'—**, more comfortable
aisé easy
Aisne *department of France between Paris and the Belgian frontier*
ajouter to add
ajuster (*s'*) to fit, adjust
Al = aluminium
alambic *m.* still
Albert *see* **médaille**
albite *f.* albite
alcali *m.* alkali
alcalin alkaline
alcool *m.* alcohol
alcoolique alcoholic
Alexandre: pont — **III** *one of the finest bridges across the Seine in Paris, finished in 1900*
algèbre *f.* algebra
algébrique algebraic
algébriste *m.* algebraist

Algérie *f.* Algeria (*French colony in the northern part of Africa*)

algue *f.* alga

aligner to line up, align

alimentaire alimentary, pertaining to food; *see* **conserve**

alimentation *f.* feeding, supply; *see* **câble**

alimenter to feed, supply

allégresse *f.* cheer, joy

Allemagne *f.* Germany

Allemand *m. & adj.* German

aller to go; — **et retour** round trip; back and forth; *see* **faire**

allié *m.* ally

allongement *m.* lengthening

allonger to lengthen; **s'—**, grow longer; extend

allotropique allotropic

allumage *m.* ignition; lighting, illumination

allumer to light, set fire to, ignite

allumette *f.* match

allure *f.* pace, rate, rate of speed; behavior, course

allusion *f.* allusion

alors then, at that time; — **que** whereas, while

Alpes *f. pl.* Alps

alphabet *m.* alphabet

altérer to alter; impair

alternateur *m.* alternator

alternatif alternating

alternativement alternately, one after the other

alterné alternate

altitude *f.* altitude, height

alumine *f.* alumina

aluminium [-i-əm] *m.* aluminum

amarrage *m.* mooring; *see* **mât**

amas *m.* mass

ambiant surrounding

ambré amber, amber-colored

âme *f.* web; *see* **poutre**

amélioration *f.* improvement

améliorer to improve, make better

aménagement *m.* preparation for service

aménager to prepare, arrange

amenée *f.* inlet, inflow; *see* **conduite**

amener to bring, lead

amer bitter; **lacs Amers** Bitter Lakes

américain American, of the United States

Amérique *f.* America

ami *m.* friend

amiante *m.* asbestos

ammoniacal ammoniacal; *see* **eau**

ammoniaque *f.* ammonia

amont: en —, upstream

amorphe amorphous

amortir to damp; *see* **onde**

amortissement *m.* paying off, gradual payment

amortisseur *m.* bumper; — **de chocs** bumper, shock absorber

ampérage *m.* amperage, current

Ampère, André-Marie (1775–1836) *French physicist and mathematician*

ampère *m.* ampere

ampère-heure *m.* ampere-hour

ampèremètre *m.* ammeter

amphithéâtre *m.* amphitheater, lecture room

amplificateur *m.* amplifier; *adj.*

—**teur**, —**trice** amplifying

amplification *f.* amplification

amplifier to amplify

amplitude *f.* width, amplitude

ampoule *f.* bulb, tube

an *m.* year

analogie *f.* analogy

analogue analogous, similar

analyse *f.* analysis

analyser to analyze

ancêtre *m.* ancestor

ancien former; old, ancient

ancrage *m.* anchoring, mooring

ancrer to anchor, moor

âne *m.* ass, donkey; *see* **dos**

anfractuosit   *f.* anfractuosity, sinuosity

anglais English

angle *m.* angle

Angleterre *f.* England

anguleux angular

anhydre anhydrous

anhydride *m.* anhydride; —

d'acide acid anhydride, acidic

oxide; — **sulfureux** sulfur

dioxide; — **sulfurique** sulfur

trioxide; — **carbonique** carbon

dioxide, carbonic acid

gas

animal *m.* & *adj.* animal; —

sans vert  bre invertebrate;

see **noir**

animateur *m.* prime mover

animer to animate, drive

anneau *m.* ring; circular rib

(*of a dirigible*)

année *f.* year; **pendant de**

longues —s for many years

annoncer to announce

annuel annual

annuler to annul, nullify

anode *f.* anode

anormal abnormal

Anschütz: **compas gyroscopique** —, Anschütz gyro

compass (*a compass indi-*

cating direction, through the

action of the rotation of the

earth, independent of mag-

netic influence)

antenne *f.* antenna, aerial

antérieur anterior, front

ant  rieurement previously

anthrac  ne *m.* anthracene

antique ancient

antiquité *f.* antiquity; **de toute**

—, since the earliest times

Anzani *Italian designer of gasoline engines*

A. O. F. = **Afrique-Occidentale française**

ao  t *m.* August

apercevoir to perceive, notice;

s'— (de) notice

aplomb *m.* perpendicularity; **  **

l'— de straight above

apparaître to appear

appareil *m.* apparatus, ma-

chine, appliance, device, in-

strument; set; pomp, show,

display; — **photographique**

camera; — **de bord** ac-

cessory; — **de mesure de la**

dérive drift indicator; —

de prise de vues cin  mato-

graphiques cinematograph

camera, motion picture

camera; — **de voie** switch

appareillage *m.* preparation,

setting-up, equipment

apparence *f.* appearance

apparent visible, that shows

- apparition** *f.* appearance
appartement *m.* apartment
appartenir to belong
appeler to call
Appien Appian; *see* **voie**
application *f.* application, use
appliquer (s') to apply
apporter to bring; bring to bear
appréciable appreciable
apprécier to appreciate, estimate
apprendre to learn, learn of; teach
approbation *f.* approval
approcher (de) to bring up, bring near; approach; s'— (de) approach, come near
approfondi thorough, searching
approprié suitable, made for the purpose
approuver to approve
approvisionnement *m.* supplies
approximation *f.* approximation
approximativement about, approximately
appui *m.* support; *see* **point**, **prendre**
appuyer (s') to press, stress
après after, afterwards; — **que** after; **d'**—, according to
a priori a priori, in advance
apte fit
aptitude *f.* aptitude, fitness
aqueux aqueous, water
arable tillable, arable
Arago, **Dominique-François** (1786-1853) *famous French physicist and astronomer*
arbitraire arbitrary
arbre *m.* arbor, shaft; — **de** distribution cam shaft; — **à cames** cam shaft; — **moteur** drive shaft; *see* **moteur**
arc *m.* arc; arch (*of a bridge*)
Archimède Archimedes (*famous mathematician born in Syracuse, Sicily, about 287 B.C.*)
architecte *m.* architect
aréomètre *m.* areometer, hydrometer
arête *f.* edge, ridge; — **médiane** splitter (*of a Pelton wheel*)
argent *m.* silver
argile *f.* clay
argileux clayey, argillaceous
argon *m.* argon
argument *m.* argument
armaturage *m.* bracing
armature *f.* frame, armature, plate
arme *f.* arm of the service, corps; — **du génie** engineer corps
armée *f.* army; — **de terre** land forces; — **de mer** navy, marine forces
armer to reinforce
armistice *m.* armistice
armoire *f.* closet
armure *f.* armor
aronde *f.* swallow; *see* **queue**
arracher (à) to tear away (from)
arrangement *m.* arrangement, planning
arranger: s'— **pour** to devise a way to or so that
arrestation *f.* arrest
arrêt *m.* stopping, stop; *danger* (*of a signal*)
arrêter (s') to stop

- arrière** *m.* rear, aft; **en** —, backward; *see* **pointe**
arrivée *f.* arrival, inlet; arrival platform; — **d'air chaud** blast main
arriver to arrive, reach; happen; succeed
arrondi rounded
arrosage *m.* sprinkling
arsenic *m.* arsenic
art *m.* art
artésien *Artesian, of Artois (old province of northern France where artesian wells have been made for almost a century)*
article *m.* article
articulation *f.* joint, hinge; articulation
articuler to join, articulate
artifice *m.* artifice, contrivance
artificiel artificial
artillerie *f.* artillery
artiste *m.* artist
As = arsenic
ascendant ascending, upward, rising; *see* **course**
ascenseur *m.* elevator
ascension *f.* rise, ascension
ascensionnel lifting
asile *m.* refuge, place of refuge
aspect *m.* aspect, appearance
asphalte *m.* asphalt
asphalteux asphaltic, asphalt
asphaltique asphaltic
aspiration *f.* intake, inlet; aspiration; *see* **tuyau**
aspirer to draw by suction, suck in; draw off
assemblage *m.* joint; group; assembling
assembler to join, assemble
assentiment *m.* assent
assez enough, fairly
assiette *f.* assessment
assigner to assign
assimilation *f.* assimilation, comparison
assimiler to assimilate; make like
assise *f.* base
assistant *m.* person present
assister (**à**) to attend, witness, be present (**at**)
association *f.* association
associé *m.* & *adj.* associate
associer to associate, join
assujettir to subject
assurer to assure, make sure; provide; secure; **s'**—, procure
astre *m.* heavenly body
astreindre to limit
astronomie *f.* astronomy
astronomiquement astronomically
asynchrone * [**ch** = **k**] *asynchronous*; *see* **moteur**
ate *chemical suffix* -ate
atelier *m.* shop, studio; — **de fonderie** casting room, foundry
Athénée des arts *m.* learned institution offering courses in literature and sciences which flourished toward the end of the 18th and at the beginning of the 19th century
Atlantique *m.* Atlantic Ocean
atmosphère *f.* atmosphere
atmosphérique atmospheric
atome *m.* atom
atomique atomic
attacher to attach, fasten

attaque *f.* attack
attaquer to attack, drive
atteindre to reach, attack
atteler to hitch, couple
attendre to expect; **en attendant** *que* until
attentif attentive
attention *f.* attention; *see* **faire**
atténuer (s') to attenuate, diminish
atterrissage *m.* landing; *see* **train**
attirable attractable
attirer to attract
attraction *f.* attraction
attire *m.* attraction
attribuer to attribute, assign
aube *f.* paddle, bucket, vane;
see **roue**
aucun no, none; **d'—s** some
audace *f.* daring, boldness
audacieux bold, audacious
au-dessous (de) under, below
au-dessus (de) above
Audibert *inventor and automobile dealer of Lyon-Villeurbanne*
audion *m.* audion, vacuum tube
auget *m.* bucket
augmentation *f.* increase
augmenter (de) to increase (in)
aujourd'hui today
auparavant *adv.* before
auprès (de) near, with, at the side (of)
aurore *f.* dawn; — **boréale** aurora borealis
aussi too, also; as; so, therefore; — **bien** therefore; — **bien . . . que** both . . . and
aussitôt at once, immediately; once; — **que** as soon as

Australie *f.* Australia
autant as much, as many;
d'— plus or moins *see* **note** to page 32, line 4; **en dire** —, to say the same thing; **en faire** —, to do the same thing
auteur *m.* author
auto *m.* automobile
auto-chenille *f.* caterpillar tractor
autochrome [ch = k] autochrome
autogène autogenous; *see* **soudeure**
automatique automatic
automobile *m.* & *adj.* automobile
automobiliste *m.* automobilist
automotrice *f.* electric locomotive (*with seats for passengers*)
autonome autonomous, independent
autonomie *f.* autonomy, independence
autorégula—teur, —trice self-regulating
autoriser to warrant
autorité *f.* authority; *see* **faire**
autour (de) around
autre other, different; *see* **chose, part**
autrefois formerly
autrement otherwise; — **dit** in other words
autrichien Austrian
auxiliaire auxiliary
aval downstream; *see* **bief**
avance *f.* advance; **à l'—, d'—**, in advance

avancé advanced, far ahead;
see signal
avancement *m.* advance, forward motion
avancer to advance
avant *m. & adj.* front, fore;
en — de in front of; *see roue*
avant *prep. & adv.* before; —
de + inf. before; — *que conj.* before
avantage *m.* advantage
avantageux advantageous
avant-projet *m.* preliminary project
avarie *f.* damage
avenir *m.* future
aventure *f.* adventure; *à l'—*, at random
avenue *f.* avenue
avertir to warn, inform
aviation *f.* aviation
avide greedy
avion *m.* airplane; — **sans moteur** motorless plane, glider
avionnette *f.* small airplane
avis *m.* opinion
avoir to have, get; — *à* have to, be obliged to; *il y a* there is, there are; ago; *il y a lieu de* there is reason to; — *affaire à* have to do with; — *besoin de* need; — *coutume de* be accustomed to; — *lieu* take place; — *la haute main* have the greatest authority; — *raison* be right; — *soin* be careful; *see jusque*
avril *m.* April
axe *m.* axis, center line; shaft,

pin, axle; **grand —**, major axis; **petit —**, minor axis
Az = azote
azotate *m.* nitrate
azote *m.* nitrogen
azoté nitrogenous
azoteux nitrous
azotique nitric

B

β *see rayon*
bâbord *m.* port side
bac *m.* vat, tank; jar
bâche *f.* case, casing
bagage *m.* baggage
bague *f.* ring; collector
baie *f.* bay, window; *see Mont-Saint-Michel*
bain *m.* bath; — **d'électrolyse** electrolytic bath
baisser to drop
baladeur *m.* sliding gear
balai *m.* brush
balance *f.* balance, scales; *see mettre*
balayer to sweep, blow
ballast [*st sounded*] *m.* ballast
ballaster to ballast
ballon *m.* balloon; spherical or round bottomed flask; car-boy
ballonnet *m.* ballonet, cell; — *à gaz* gas bag
Bamako town in French West Africa
banc *m.* bed; bench
bande *f.* band, strap; strip
banquette *f.* bench, seat; *banquette*, ledge
baptiser [*p silent*] to baptize
barbare barbarous

- Barbot, Georges** (1894-)
French aviator of Toulouse
barbotage *m.* splash, dipping;
 bubbling; *see* **graissage**
barillet *m.* exit tube
barométrique *barometric*
Baron (d'Hénouville), Théo-
 dore (1715-1768) *French*
physician and chemist
barrage *m.* dam
barre *f.* bar
barreau *m.* bar; — **aimanté**
 bar magnet
barrette *f.* bar, crossbar
bas, basse *low; n. m.* bottom;
 de — *en haut* upwards; *see*
fréquence, haut, voix
base *f.* base, basis; foundation;
 foot (*of an abutment*)
baser to base
basique *basic*
bassin *m.* basin, coalfield
bataillon *m.* battalion; *see* **chef**
bâtiment *m.* building
bâtir to build
bâton *m.* stick, club; *see* **coup**
batterie *f.* battery (*group of*
cells)
batterie-tampon *f.* floating bat-
 tery, balancing battery
battre to beat
baudruche *f.* goldbeater's skin
Baumé, Antoine (1728-1804)
French chemist who perfected
the hydrometer, a scale of
which is named for him
be-au, -l, -lle, fine, beauti-
ful
beaucoup much, many; **de —,**
 by far; *see* **falloir**
beau-père *m.* father-in-law
Beautemps-Beaupré, Charles
- François** (1766-1854) *famous*
French hydrographer
bec *m.* burner
Belidor, Bernard Forest de
 (1693-1761) *French scientist*
and engineer
bélier *m.* ram; *see* **coup**
bénéficier (**de**) to profit (**by**),
 take advantage (**of**)
benzène [bē-] *m.* benzene
benzol [bē-] *m.* benzol, benzine
béquille *f.* prop, tail skid
Berlier, Jean-Baptiste (1843-
 1911) *French engineer and*
subway builder
Berthon, Rodolphe *inventor of*
Lyons
besoin *m.* need; **au —,** if need
 be; *see* **avoir**
Bessemer, Sir Henry (1813-
 1898) *English engineer, in-*
ventor of the famous Bessemer
steel process
bête *f.* beast
béton *m.* concrete
beurre *m.* butter
beurrier butter-producing
bi- *chemical prefix di-, bi-*
bichlorure [ch = k] *m.* di-
 chloride, bichloride
bicyclette *f.* bicycle
bidon *m.* can
bief *m.* mill-race; — **d'aval**
 tail-race
bielle *f.* connecting rod; *see*
coussinet
bien *m.* good; *adv.* well; very,
 much, quite, indeed, rather;
 — **de** many; — **que** al-
 though; **ou —** or else; **ou**
 — . . . **ou —,** either . . . or;
si — que so that, with the

- result that; *see* **entendre**,
homme, mener
bienfait *m.* benefit, advantage,
 utility
bientôt soon
bifurcation *f.* branching, junc-
 tion, crossover; *see* **gare**
bille *f.* ball-bearing
billet *m.* ticket
binoculaire binocular
biochimique biochemical
biologie *f.* biology
biologique biological
biologiste *m.* biologist
bioxyde *m.* dioxide
biseau *m.* bevel
bi-temps *m.* two-cycle engine
bitume *m.* bitumen
bitumineux bituminous
Blaisois *old division of France,*
now in the department of
Loir-et-Cher; its capital was
Blois
blan-c, -che white; *see* **rouge**,
houille
blanchâtre whitish
blanchir to whiten, bleach
blé *m.* grain, wheat
blende *f.* blend, zinc blend
bleu blue; *see* **houille**
bleuir to make blue
bleu-violet blue-violet
blindage *m.* armor plating
blinder to armor, shield
bloc *m.* block, ball; unit; **en**
 —, in a lump
bloc-moteur *m.* transmission
 gear case (*mounted as a unit*
with crank case)
Blois *city southwest of Paris on*
the Loire
bobine *f.* coil
bobiner to wind
bogie *m.* truck
boire (à) to drink (from)
bois *m.* wood; **en** —, wooden;
 — **contreplaqué** plywood;
see **charbon**
boîte *f.* box, case; — à étoupe
 stuffing box; — à fumée
 smoke box; — à vapeur
 steam chest; — de vitesses
 transmission gear case
bon, -ne good
Bonaparte, Napoléon (1769–
 1821) *emperor of France from*
1804 to 1814
bond *m.* leap, bound
bonheur *m.* happiness
bonhomme *m.* man, fellow
bonté *f.* kindness
bord *m.* side, edge; shore; ship;
 à — de on board; de haut
 —, having several decks;
 — de la mer seashore; *see*
appareil, instrument
border to border, line
boréal northern, boreal; *see*
aurore
borne *f.* limit; binding post,
 terminal; *see* **tension**
borner to limit
bosse *f.* protuberance, hump
botanique *f.* botany
bouche *f.* mouth
boucher to cork, stop up
Bouchet' (Le) *French national*
powder mill
bouchon *m.* cork, plug
boucle *f.* loop; — d'évitement
 loop (*at the end of a railway*
line)
boudin *m.* coil; *see* **ressort**
boue *f.* mud, sludge

- bougie** *f.* candle; candlepower; spark plug
bouillir to boil
boule *f.* ball, bulb; *see* **pendule**
bouleversement *m.* revolution; commotion
boulon *m.* bolt
bouquetier *m.* flower vase
Bourem *small fort and market on the Niger, west of Timbuktu*
Bourg [*g* = *k*] *large town about 300 miles southeast of Paris*
Boursault *see* **prix**
bout *m.* end; **de — en —**, from end to end; *see* **vue**
bouteille *f.* bottle; — **Dewar** Dewar vessel
bouton *m.* pin
brai *m.* tar, pitch
branche *f.* branch
brancher to connect
Branly, Édouard (1846—) *French chemist and physicist, inventor of the coherer which made possible Marconi's early achievements in wireless telegraphy*
bras *m.* arm
brassage *m.* stirring, mixing
brasser to stir
brave brave, gallant, worthy
Brazzaville *town of French Equatorial Africa*
brèche *f.* breccia; breach, gap
bref short; *adv.* in short
Bretagne *f.* Brittany
bretelle *f.* crossover (*between two parallel tracks*)
breton, -ne *adj.* of Brittany
brillant brilliant
briller to shine
brin *m.* branch
brique *f.* brick; — **réfractaire** fire brick
briquet *m.* steel (*for striking a light*)
briquette *f.* briquette
bris *m.* breaking
brise *f.* breeze
briser to break
broche *f.* plug
bromure *m.* bromide
bronze *m.* bronze
brouillard *m.* fog
brouiller to confuse
broyage *m.* crushing, grinding
broyer to crush, grind
broyeur *m.* grinder, crusher; — **à rouleaux** or **à cylindres** roll crusher
bruit *m.* noise
brûler to burn
brûleur *m.* burner
brûlure *f.* burn
brun brown; — **noir** dark brown
brunir to turn brown
brusque sudden, sharp
brut raw, crude, rough, unfinished; *n. m.* crude oil, crude; *see* **matière**
bulle *f.* bubble; *see* **niveau**
bureau *m.* bureau, office; — **des Longitudes** Board of Longitudes
buse *f.* nozzle
busette *f.* blast pipe
but *m.* end, object, purpose; **dans ce —**, for this purpose; **dans le — de** with the object of
buter to hit, strike

C

γ see *rayon*

C = *carbone*

cabalistique cabalistic, magical

cabine *f.* cabin, room, tower;
— *de navigation* navigating
room

câble *m.* cable; — *s d'alimen-*
tation feeders; — *porteur*
suspension cable

cache (*se*) to hide

cadence *f.* cadence

cadencé in cadence

cadre *m.* frame, compass;
loop, loop aerial

caillé curdled

caillou *m.* pebble, small stone

Caire (*Le*) Cairo

caisse *f.* chest, case, box;
body; bank

caisson *m.* case, caisson

calcaire *m.* limestone; *adj.*
calcareous; see *pierre*

calcination *f.* calcination

calcium [*-i-om*] *m.* calcium

calcul *m.* calculation, calculus

calculer to calculate

cale *f.* wedge

caler to key

calme *m.* calm

calorie *f.* calorie

calorifique calorific

came *f.* cam; see *arbre*

camion-citerne *m.* oil truck,
gasoline truck

campagne *f.* country

canal *m.* canal, channel; pas-
sage; — *de fuite* tail-race,
waste channel

canalisation *f.* pipe line; system
of pipes; conduit, wiring

cancer [*r sounded*] *m.* cancer

cancéreux cancerous

canevas *m.* triangulation; —
d'ensemble general triangu-
lation

caniveau *m.* gutter, conduit

canon *m.* cannon, gun; roll,
stick (*of sulfur*)

caoutchouc *m.* rubber; —
durci hard rubber; see
poire

caoutchouté *adj.* rubber; with
a rubber tire

cap [*p sounded*] *m.* cape, head-
land; ship's head

capable able, capable

capacité *f.* capacity, volume

capitaine *m.* captain

capital *m.* capital; *adj.* great,
important, of the first im-
portance

caprice *m.* caprice, whim

capter to catch, collect; make
available

captiver to captivate

car for

caractère *m.* character, nature;
characteristic

caractériser to characterize

caractéristique *f.* & *adj.* char-
acteristic

caravane *f.* caravan

carbolicque carbolic

carbonate *m.* carbonate; — *de*
fer siderite

carbone *m.* carbon; see *oxyde*,
sulfure

carbonique carbonic; see *acide*,
anhydride, *gaz*

carbonisation *f.* carbonization

carburant *m.* fuel (*gas or*
liquid)

- carburateur** *m.* carburetor
carburation *f.* carburation
carbure *m.* carbide, hydro-carbon
carburer to carburize, carbonize
carcasse *f.* frame, casing
carneau *m.* flue; — à fumées chimney flue
carré *m.* & *adj.* square; — des officiers officers' mess room, officers' quarters
carreau *m.* tile; platform, dump (at the top of a mine shaft)
carrière *f.* career
carrosserie *f.* body
carrossier *m.* body builder
carte *f.* map, chart
carter [*r* sounded] *m.* case, housing, crank case
carton *m.* board, cardboard
cas *m.* case; en tout —, at any rate
casque *m.* head set
cassant brittle
casser (se) to break
cassure *f.* fracture
catalan Catalan (of Catalonia, ancient province in the north-eastern corner of Spain); see forge
cataloguer to catalogue
catégorie *f.* category
caténaire catenary, chain-like
cathode *f.* cathode
cause *f.* cause; à — de because of, on account of
causer to cause; talk
caustique caustic
cave *f.* cellar
cavité *f.* cavity, hollow
céder to yield; le — à be inferior to
ceinture *f.* belt; **chemin de fer de Ceinture** Belt Line (railroad just within the fortifications of Paris and running around the whole city)
célèbre famous, well-known
célébrité *f.* fame
Célestins: quai des —, extension to the southwest of the quai de l'Hôtel-de-Ville, Paris
cellule *f.* cell
celluloïd [*d* sounded] *m.* celluloid
cellulosique cellulosic
celui, celle, ceux, celles this or that, this or that one; — qui the one who, he or him who; —ci this one, the latter; —là that one, the former
cémentation *f.* cementation, casehardening
cémenter to caseharden
cendre *f.* ashes, cinders
censé thought, reputed
cent hundred, a hundred; pour —, per cent
centaine *f.* about a hundred, hundred
centésimal centesimal, percentage
centième *m.* hundredth, hundredth part
centime *m.* centime (the one hundredth part of a franc)
centimètre *m.* centimeter
central central, in the center; main; see massif, usine
centrale *f.* power station

- centre** *m.* center; — **de triage** railroad yard
centrer to center
centrifuge centrifugal; (*of a turbine*) outward-flow
centripète centripetal; (*of a turbine*) inward-flow; *see turbine*
cependant however, in the meantime
cérame *m.* earthenware vessel; *adj.* earthenware; *see grès*
cercle *m.* circle, band, hoop; sphere
cérémonie *f.* ceremony
certain certain, sure; *pron. pl.* some
certes certainly
certitude *f.* certainty
cerveau *m.* brain
cesse *f.* ceasing; **sans** —, constantly
cesser to cease
CGS = centimètre, gramme, seconde; *see système*
chacun each, each one; *apiece*
chaîne *f.* chain; — **sans fin** endless chain; — **transporteuse** chain conveyor; *see roue*
chaire *f.* chair (*in a university*)
chaleur *f.* heat
chaleureux ardent, glowing
Chalouf-el-Terraba Shaluf (*archeological site, ridge, and town on the isthmus of Suez*)
chambre *f.* room, chamber; bedroom; — **de chauffe** fire-room, stoke-hole; — **claire** camera lucida; — **de décantation** screen room; —
à poussières dust catcher; — **photographique** camera
champ *m.* field
champignon *m.* mushroom; *see soupape*
chance *f.* chance
changement *m.* change
changer (*de*) to change
chant *m.* song
chapitre *m.* chapter
chaque each, every
charbon *m.* coal, (amorphous) carbon; carbon (*electrode*); — **de bois** charcoal; — **à coke** coking coal; — **de terre** pit coal; *see grenaille*
charbonner to char
charge *f.* load; charge, charging; burden; pressure
chargement *m.* loading, charging, load
charger to entrust, charge, destine
Charlottenbourg western suburb of Berlin, and a manufacturing center
charpente *f.* framework
charretier practicable for wagons
charroi *m.* wagon traffic
chasser to drive, drive out, expel
châssis *m.* chassis
château *m.* chateau
châtiment *m.* punishment
chaud hot, warm; **à** —, hot, in a heated state; *see air*
chaudière *f.* boiler
chauffage *m.* heating; *see circuit, installation*
chauffe *f.* heating; *see chambre*
chauffer to heat, get hot; *se*

- , get hot; — *au gaz* heat with gas; — *à la vapeur* heat with steam
chaussée *f.* road, highway; *see ingénieur*
chaux *f.* lime; — *vive* quicklime
chef *m.* head, leader; — *de bataillon* major; — *de file* leader
chemin *m.* road; — *de fer* railroad; — *de fer d'intérêt général* main line, trunk line; — *de fer d'intérêt local* branch line, local line; *see ceinture, est, nord, nord-sud*
cheminée *f.* chimney, stack, smokestack
cheminement *m.* passage
cheminer to advance, travel
chemise *f.* jacket, lining
chenal *m.* channel
chêne *m.* oak
Chénier, André (1762–1794)
French lyric poet
chenille *f.* caterpillar
cher dear, expensive
Cherbourg *port and city in northern France on the English Channel*
chercher to seek, look for; try
chercheur *m.* investigator
cheval *m.* horse; metric horsepower *see note to page 95, line 19*
chevalement *m.* gallows-frame, headgear
cheval-heure *m.* metric horsepower-hour
cheval-vapeur *m.* metric horsepower *see note to page 95, line 19*
chevalier *m.* knight
chevaucher to overlap
cheveux *m. pl.* hair
chez in the case of; at the house of; — *soi* in one's own home
chicane *f.* baffle plate
chiffre *m.* figure, cipher; — *d'affaires* amount of business
chiffrer to calculate
chimérique chimerical, fanciful
chimie *f.* chemistry
chimique chemical
chimiste *m.* chemist
chlore [ch = k] *m.* chlorine
chloré [ch = k] chlorinated, chlorine-containing
chlorhydrique [ch = k] hydrochloric
chlorure [ch = k] *m.* chloride
choc *m.* knocking, jolt, blow; *see amortisseur*
choisir to choose
choix *m.* choice
choquer to strike, jolt
chose *f.* thing, matter; **autre** —, anything else; —**s divers** miscellaneous articles
chrome [ch = k] *m.* chrome
chromocinématographie [ch = k] *f.* color cinematography
chronologique [ch = k] chronological
chronomètre [ch = k] *m.* chronometer
chute *f.* fall, drop
ci-après below
ci-contre opposite, at the side

- ci-dessus** above
ciment *m.* cement
cinéma *m.* moving pictures
cinématographe *m.* cinematograph
cinématographie *f.* cinematography
cinématographier to cinematograph
cinématographique cinematographic
cinquantaine *f.* about fifty
centre *m.* centering; **en plein** —, full-centered, semicircular
circonférence *f.* circumference, circle
circonstance *f.* circumstance
circuit *m.* circuit; — **de chauffage du filament** filament circuit
circulaire circular
Circulaire-Nord *section of the Paris subway on the right bank of the Seine*
Circulaire-Sud *section of the Paris subway on the left bank of the Seine*
circulation *f.* circulation, traffic, street traffic
circuler to circulate, travel
citer to quote, mention
citerne *f.* tank, reservoir
citron *m.* lemon; *see* **jaune**
civil civil; *see* **génie**
civilisateur *m.* civilizer
civilisation *f.* civilization
clair clear; light (*of colors*); *see* **chambre**
clairement clearly, plainly
clairvoyant clear sighted, discerning
clarté *f.* clarity, clearness
classe *f.* class; *see* **faire**
classer to class, classify
classification *f.* classification
classique classical, regular, standard
clause *f.* clause
clavette *f.* pin, cotter
clé, clef *f.* keystone
Clerget, Pierre *French designer of gasoline engines*
cliché *m.* plate (*photographic*), negative
clientèle *f.* consumers, customers
cloison *f.* separating wall; guide-blade
cloisonnement *m.* partition
clos closed, enclosed
cm. = centimètre
cobalt [*It sounded*] *m.* cobalt
cocon *m.* cocoon; *see* **fil**
coercitif coercive
cœur *m.* heart, courage; *see* **homme**
coexistence *f.* coexistence
coffrage *m.* form
cohéreur *m.* coherer
cohésion *f.* cohesion; unity, close relationship
coincer to wedge, jam
coïncider to coincide
coke *m.* coke; — **de pétrole** petroleum coke, oil coke; *see* **charbon, four, houille**
cokerie *f.* coking plant
col *m.* saddle, col
collaborateur *m.* collaborator
collaboration *f.* collaboration, coöperation
collecteur *m.* commutator
collectionneur *m.* collector

- collège** *m.* municipal high school; — **Mazarin** school founded at Paris by Cardinal Mazarin counting among its students many famous men of science and letters; — **de France** institution offering free public lectures on literature and science
- collègue** *m.* colleague
- coller** to stick
- collier** *m.* collar; *see* **coup**
- collision** *f.* collision
- Colomb-Béchar** small oasis of the Algerian Sahara
- colonel** *m.* colonel
- colonial** colonial, of the colonies
- colonie** *f.* colony
- colonne** *f.* column, upright; — à plateaux rectifying column
- coloration** *f.* coloring
- colorer** to color
- coloriage** *m.* coloring
- colossal** huge, colossal
- colosse** *m.* colossus
- colza** *m.* colza
- combattre** to combat, fight
- combien** how much, how many
- combinaison** *f.* combination
- combiner** (se) to combine, join
- combustible** *m.* & *adj.* combustible, fuel
- combustion** *f.* combustion
- comique** funny, comical
- comité** *m.* committee
- commandant** *m.* major, commander
- commande** *f.* command, order; control, driving; *see* **mettre**, **poste**, **tige**
- commander** to control, operate, govern; *see* **soupape**
- commandeur** *m.* third grade in the Legion of Honor
- comme** as, like, as to
- commencement** *m.* beginning, start
- commencer** to begin
- comment** how; *see* **importer**
- commentaire** *m.* remark, memoir
- commerce** *m.* trade, commerce, business
- commercial** commercial, business
- commettre** to commit
- commissaire** *m.* commissioner
- commission** *f.* commission
- commode** convenient
- commodément** conveniently
- commodité** *f.* convenience
- commun** common; *see* **tronc**
- communauté** *f.* community
- communément** commonly, generally
- communication** *f.* communication; connection
- communiquer** to communicate, impart; *see* **faire**
- commutateur** *m.* switch, push button
- commutatrice** *f.* rotary converter
- compact** compact
- compagnie** *f.* company
- comparativement** comparatively, by comparison; — à as compared with
- comparer** to compare
- compartiment** *m.* compartment
- compas** *m.* compass; — **gyroscopique** gyro compass; *see* **Anschütz**

compensa-teur, -trice com-
pensating

compenser to compensate

complément *m.* complement

complet complete

compléter to complete, comple-
ment, supplement

complexe complex

complexité *f.* complexity

complication *f.* complication

compliqué complicated

compliquer to complicate

comporter to admit, contain,
involve; **se —**, behave, act

composant *m.* component

composé *m. & adj.* compound

composer to compose, consti-
tute

composition *f.* composition;
— **centésimale** percentage
composition

compound *m. & adj.* compound

compréhensible distinct, com-
prehensible

compréhension *f.* comprehen-
sion, understanding

comprendre to understand,
realize; comprise, include

compresseur *m.* compressor;
— **d'air** air pump

compression *f.* compression

comprimer to compress

compromis *m.* compromise

compte *m.* account; **tout —**
fait taking everything into
consideration; *see* **rendre**,
tenir

compter to count, expect, take
into account; comprise

comte *m.* count

concasser to crush

concasseur *m.* crusher

concéder to grant

concentration *f.* concentration

concentrer to concentrate

concentrique concentric

conception *f.* conception, idea

concernant concerning

concerner to concern

concert *m.* concert

concession *f.* grant, concession

concessionnaire *m.* grantee,
concessionnaire

concevable conceivable

concevoir to conceive, think
out, understand

conclure to conclude

concordance *f.* accordance

concordant concordant, har-
monious

concours *m.* competition;
meet; coopération

concurrent *m.* competitor

condamner to condemn

condensateur *m.* condenser;
— **à plateaux** plate con-
denser

condensation *f.* condensation

condenser (se) to condense

condenseur *m.* condenser;
sans —, non-condensing; *adj.*
-eur, -euse condensing

condisciple *m.* fellowstudent

condition *f.* condition, state,
circumstance; *pl.* condition;
à — que on condition that,
provided that

conducteur *m.* conductor, wire;
driver; *adj.* **-teur, -trice**
conducting (*electricity or*
heat); driving; *see* **ligne**,
personnel

conductibilité *f.* conductivity

conduire to conduct, carry,

- lead, direct, run, drive; **se**
—, act, behave
conduit *m.* pipe
conduite *f.* pipe; management;
driving; — **d'amenée d'eau**
flume, wheel pit, penstock;
— **forcée** pressure pipe, pen-
stock
cône *m.* cone, conical roller
confection *f.* making
conférence *f.* conference, lec-
ture
confier to entrust
configuration *f.* configuration
confirmer to confirm
confiture *f.* jam, preserves
conflit *m.* conflict
confondre to mingle, confuse,
blend; **se — avec** be identi-
cal with, coincide with
conformer (se) to conform
confort *m.* comfort
confortable comfortable
confrère *m.* colleague
confus confused, intricate
confusion *f.* confusion
congélation *f.* freezing
congrès *m.* congress, meet
conique conical, tapering
conjoncteur-disjoncteur *m.*
self-closing circuit-breaker
conjonction *f.* conjunction
conjugué conjugated
connaissance *f.* knowledge,
acquaintance; *pl.* knowl-
edge, learning
connaître to know, experience
connexion *f.* connection
conquérir to conquer, win
conquête *f.* conquest
consacrer to devote
consécutif consecutive
conseil *m.* advice; council
conséquemment consequently
conséquence *f.* consequence
conséquent: **par —**, there-
fore
conservable *adj.* that can be
preserved
conservation *f.* conservation
conserve *f.* preserves; —**s**
alimentaires preserved food,
canned goods
conserv to preserve, keep;
se —, keep, last
considérable large, great,
considerable
considération *f.* consideration
considérer to consider
consistance *f.* consistency
consistant consistent
consister to consist
consolation *f.* consolation
consommateur *m.* consumer
consommation *f.* consumption
consommer to consume
constamment constantly
constance *f.* constancy
Constance: **lac de —**, lake
formed by the Rhine between
Switzerland and Bavaria
constater to discover, find out,
ascertain; prove, verify,
check up
constituant *m.* & *adj.* constit-
uent
constituer to build, constitute,
establish, make, make up
constitutif constituent
constitution *f.* constitution
constructeur *m.* constructor,
builder, manufacturer
construction *f.* construction,
manufacture, building

- construire** to construct, build
consulat *m.* consulate
contact *m.* contact; **au — de** in contact with; *see* **ligne**
contenance *f.* capacity
contenir to contain
contenter: **se — de** to be contented with
conteste *f.* dispute
continu continuous; (*of an electric current*) direct; **en —**, continuously, by the continuous process; by direct current
continuel continual
continuer to continue
continuité *f.* continuity
contour *m.* outline
contourner to twist
contradiction *f.* contradiction
contraindre to oblige
contraire *m. & adj.* opposite; **au —**, on the contrary
contrairement contrarily, contrary; **— à** unlike
contrarier to counteract, oppose
contre against; **par —**, on the other hand
contrebalancer to counterbalance
contrée *f.* region
contre-fiche *f.* strut, truss
contre-partie *f.* contrary
contreplaqué laminated, built-up; *see* **bois**
contrepoids *m.* counterweight
contribuer to contribute
contrôle *m.* checking, inspection, control
contrôler to check, verify, observe, register
controverse *f.* controversy, dispute
convaincre to convince
convenable suitable
convenablement properly, suitably
convenir to agree, suit, behoove
convention *f.* convention; contract
conventionnel conventional
convergent converging
converger to converge
conversion *f.* conversion
convertisseur *m.* converter; static transformer; **— rotatif** rotary converter; **— à vapeur de mercure** mercury vapor rectifier; *adj.* converting; *see* **groupe**
convoi *m.* train, convoy
coopération *f.* coöperation
coordonner to arrange
copier to copy, imitate
Corbeil town on the Seine about 30 miles south of Paris
corde *f.* rope
corps *m.* body, staff; **— composé** compound; **— simple** element; **— médical** medical profession
correction *f.* correction
corrélation *f.* correlation
corrélativement correlatively
correspondant *m.* correspondent, person speaking; *adj.* corresponding
correspondre to correspond
corriger to correct
côte *f.* coast; **— à —**, side by side
côté *m.* side; **à — de or aux**

- s *de* beside, at the side of;
de ... —, on ... side; *see*
laisser
- coteau m.* hill, hillside
- coter* to put down references
- coton m.* cotton
- cou m.* neck
- couche f.* bed, layer, deposit,
 stratum; coating
- couché* lying
- couchette f.* bunk, berth
- coude m.* elbow, bend, angle
- couder* to bend
- coudre* to sew; *see* *aiguille*
- coulage m.* pouring
- coulé* cast
- coulée f.* casting, molding,
 running off; channel from
 furnace to mold; *see* *trou*
- couler* to cast, pour; run
- couleur f.* color
- coulisser* to slide
- couloir m.* corridor, gangway;
 — *de quille* keel strake
- coup m.* blow; — *de bâton*
 blow, beating; — *de bélier*
 water hammer; — *de col-*
lier great effort, renewed
 effort; — *d'œil* glance; *du*
premier —, at the first stroke;
à — *sûr* with certainty
- coupe f.* section
- coupe-circuit m.* circuit-breaker
- couper* to cut
- couple m.* torque, couple;
maître —, midship frame
- coupler* to connect, join
- coupure f.* opening, cut
- courageux* courageous
- couramment* commonly
- courant m.* current, stream;
 — *d'échauffement du fila-*
ment filament current; —s
de Foucault eddy currents;
adj. ordinary, common, cur-
 rent; *see* *prise*
- courbe f.* curve; — *de niveau*
contour
- courber (se)* to bend, curve
- courbure f.* curvature
- courir* to run
- couronne f.* ring, crown, hoop
- courroie f.* belt
- cours m.* course; — *d'eau*
 stream, water course; *au* —
de, en — *de* in the course of;
see *faire, professer*
- course f.* course, stroke; race;
 — *ascendante* up-stroke;
 — *de vitesse* race, dash; *see*
fond, haut
- coursive f.* runway, cat's walk
- court* short
- court-circuit m.* short circuit
- coussinet m.* bearing; — *de*
tête de bielle connecting rod
 crank end bearing
- coût m.* cost
- coûter* to cost
- coûteux* expensive
- coutume f.* habit; *see* *avoir*
- couvercle m.* lid, cover
- couvrir* to cover
- Cowper, Edward A.* *English*
metallurgist and inventor
- craie f.* chalk
- craindre* to fear
- crainte f.* fear
- crapaudine f.* step bearing
- crayon m.* pencil, lead pencil;
see *trait*
- créateur m.* creator
- création f.* creation, invention,
 establishment

créature *f.* creature, being
crédit *m.* credit
créer to create, invent; give rise to
crémaillère *f.* rack, rack bar
crème *f.* cream
crête *f.* ridge, crest
creuser to dig, hollow out, cut
creuset *m.* crucible; *see* **acier**
creux hollow; *see* **poutrage**
criblage *m.* screening
cric [*final c silent*] *m.* jack
crier to cry; — **à** cry out charging
cristal *m.* crystal
cristallin crystalline
cristallisation *f.* crystallization
cristallisé crystalline
cristalliser to crystallize
critique *f.* criticism; *m.* critic
crochet *m.* hook, poker
croire to believe, think
croiser (se) to cross
croiseur *m.* cruiser; — **aérien** large dirigible
croisière *f.* cruising
croissant growing, increasing
croître to grow, increase
croix *f.* cross; **en** —, crosswise
Croix d'Hins *French* wireless station a short distance southwest of Bordeaux
crosse *f.* crosshead
croupe *f.* brow of a hill
crue *f.* flood, freshet
cube *m.* volume; *adj.* cubic
cuir *m.* leather
cuiseur *m.* cookstove
cuisine *f.* kitchen
cuisson *f.* baking
cuire *m.* copper

culbuteur *m.* rocker-arm; *see* **moteur**
culée *f.* abutment
curatif curative
Curie, Pierre (1859-1906) *discoverer of radium*; **Marie Curie** (1867-1934) *wife of former*; **rue Pierre Curie** *street on the left bank of the Seine just above the Pantheon*
curiethérapie *f.* radium therapy
curieux curious
curiosité *f.* curiosity
cuve *f.* vat, tank; (*of a blast furnace*) shaft, stack, interior
cuvette *f.* cup, spring seat
Cuvier, Georges (1769-1832) *French naturalist*
C.V. = **cheval-vapeur**
cycle *m.* period, cycle
cyclecar *m.* light automobile
cylindre *m.* cylinder, roller; — **à vapeur** steam cylinder; **un 2 —s** a two-cylinder motor; *see* **huile**
cylindrée *f.* cylinder-full, charge, cylinder capacity, piston displacement
cylindrique cylindrical

D

Daguerre, Louis-Jacques (1789-1851) *French artist who perfected photography*
damer to ram
Damiette *Damietta* (*city on the east branch of the delta of the Nile*)
danger *m.* danger
dangereux dangerous

Darwin, Charles R. (1809–1882) *famous English naturalist*

date *f.* date; *see* **premier**

dater to date; **à — de** beginning with

davantage more, any more

débaptiser [*p silent*] to change the name of

débarquer to unload

débarrasser to free; **se — de** get rid of

débenzoleur [–bē–] *m.*, benzol remover (*apparatus for removing benzol from illuminating gas*)

débit *m.* flow

débiter to discharge, furnish

déborder to overflow, project

déboucher to unstop, uncork, open; issue, pass out

débris *m.* remains, dirt, rubbish

début *m.* beginning

débuter to begin, make a start

décalage *m.* displacement; brush lead

décaler to shift, space

décantation *f.* decantation, decanting; *see* **chambre**

décarburer to decarburize, decarbonize

déceler to detect

décembre *m.* December

décerner to grant, award

décharge *f.* discharge

décharger to discharge

déchet *m.* loss, waste

déchirer to tear

décider to decide

décintrement *m.* removal of centering, center striking

décisif decisive

décision *f.* decision, determination

déclancher to release

déclive sloping, inclined

déclivité *f.* gradient, grade

décoffrer to remove the form

décollage *m.* taking off

décoller to leave the ground, take off

décomposer to decompose, analyze, divide; **se —**, decompose, break up

décomposition *f.* decomposition

décompresseur *m.* relief cock

décoratif decorative

décorer to decorate, adorn

découler to spring

découverte *f.* discovery

découvrir to discover, uncover, open; recede (*of the sea*)

décrire to describe

décroître to decrease

dédoublement *m.* division, decomposition

dédoubler to split, divide

déduire to deduce, infer

défaillance *f.* failure

défaut *m.* defect, lack; *see* **faire**

défectueux defective, imperfect

défendre to defend, back

dé fiance *f.* distrust

défini definite

définir to define

définiti –*f*, –*ve* definitive; **en** –*ve*, finally, after all

définition *f.* definition

défecteur *m.* baffle plate, deflector

- de Forest, Lee** (1873-)
*American; one of the pio-
 neers in the development of
 wireless; invented the audion*
- déformation** *f.* deformation,
 strain
- déformer** to twist, distort
- défournage** *m.* discharge, draw-
 ing off
- défournier** to discharge, empty
- défourn-eur, -euse** discharg-
 ing
- défourneuse** *f.* pusher
- dégagement** *m.* liberation, dis-
 engagement
- dégager** to liberate, disengage,
 set free; give out (*heat*)
- dégradation** *f.* deterioration
- degré** *m.* degree; **par** —s by
 degrees, gradually
- dehors** outside; **au** —, outside;
en — **de** without, apart
 from, outside of
- déjà** already
- delà: au — de** beyond
- délai** *m.* time, period of time
- délaisser** to neglect, abandon
- délicat** delicate
- délimiter** to delimit
- demande** *f.* request
- demander** to ask, ask for, seek;
 demand; require; **se** —,
 wonder
- démarrage** *m.* starting
- démasquer** to open
- démêler** to recognize, discern
- démesurément** excessively
- demeure** *f.* abode
- demeurer** to remain
- demi** *m. & adj.* half; **à** —,
 half, semi-
- demi-auget** *m.* half bucket
- demi-charge** *f.* half load
- demi-cheval** *m.* metric half
 horse-power; *see note to*
page 95, line 19
- demi-cylindre** *m.* half cylinder
- demi-ellipse** *f.* semi-ellipse
- demi-ellipsoïde** *m.* semi-
 ellipsoid
- demi-heure** *f.* half hour
- demi-solide** semi-solid
- demi-tour** *m.* half turn
- démolir** to demolish, destroy
- démonstratif** demonstrative,
 demonstrating
- démonstration** *f.* demonstra-
 tion
- démontable** dismountable, de-
 mountable, capable of being
 taken down or apart
- démonter** to take down or
 apart
- démontrer** to demonstrate
- démultiplicateur** *m.* reducing
 gear
- dénaturer** to disfigure, distort
- dénivellation** *f.* difference of
 level
- dénomination** *f.* denomination,
 name
- dénommer** to call
- dénonciation** *f.* denouncement,
 notice
- dense** dense
- densité** *f.* density (*weight in*
grams per cubic centimeter)
- denté** toothed, cogged; *see*
roue
- départ** *m.* departure, start;
 exit; departure platform
- dépasser** to exceed, go beyond
- dépendre** (**de**) to depend (**on**)
- dépens** *m. pl.* expense

- dépense** *f.* expense
dépenser to spend, expend
déperdition *f.* loss
dépît: en — de in spite of
déplacement *m.* displacement, movement
déplacer to displace, move
déplorable deplorable
dépoli ground
déposer to deposit; **se —**, settle, form a deposit
dépôt *m.* deposit
dépouiller to deprive
dépression *f.* depression
depuis since, from, for; **— que** since
dérégable liable to get out of order
dérive *f.* deviation, drift; *see* **appareil**
dérivé *m.* derivative, product
dériver to derive, be derived, originate
dernier last, final; recent; latter
dérogation *f.* digression (*à* from)
dérouler to unwrap, unroll; **se —**, be unfolded, extend
derrière behind
dès from, by, at, as early as; **— que** as soon as; **— lors** therefore, hence; since then
désaimanter to demagnetize
désarmé disarmed, unarmed
désastreux disastrous
désavantage *m.* disadvantage
Descartes, René (1596-1650)
French philosopher and mathematician
descendre to go down, come down
descente *f.* descent
descripteur descriptive
description *f.* description
désert *m.* desert
désertique *adj.* desert
déshydrater to dehydrate
desideratum *m.* desideratum, object, wish; *pl.* **desiderata**
désigner to designate, appoint
désintégration *f.* disintegration
désir *m.* desire, wish
désirer to desire, wish
désordre *m.* disorder, disturbance
désormais henceforth
dessécher (**se**) to dry
dessein *m.* purpose
desservir to supply, accommodate
dessin *m.* design, plan, outline
dessiner to draw, outline
dessous under; **en —**, underneath; *see* **roue**
dessus over, above; *see* **roue**
destination *f.* destination, purpose
destiner to destine, design
destruction *f.* destruction
détacher to detach, remove, free
détail *m.* detail, plotting (*of details*); *see* **topographe**
détaillé detailed
détecteur *m.* detector
détection *f.* detection
détendre to relax, release; expand; **se —**, expand
détenir to hold
détente *f.* expansion; cut-off
détérioration *f.* deterioration
détériorer (**se**) to wear out, deteriorate

- détermination** *f.* determination
déterminé definite
déterminer to cause, determine; specify
détourné indirect, roundabout
détourner to turn away
détriment *m.* detriment, harm
détruire to destroy
deux two; — **à** —, every two, in pairs; **tous** —, both; *see* **voie**
devant before, in front of
développement *m.* development
développer to develop; unwind
devenir to become
déverser to pour forth
déviation *f.* deviation, deflection, turning aside
dévier to deflect, deviate
deviner to divine, think
devoir must, ought, have to, be scheduled or destined to; owe; *n. m.* duty
dévouement *m.* devotion; application
Dewar, Sir James (1842-1923) *Scottish chemist; invented vacuum vessels which bear his name, and are also called thermos bottles; see bouteille*
Dewoitine, Émile (1892-) *French airplane manufacturer of Toulouse*
diagonalement diagonally
diamant *m.* diamond
diamétral diametrical, diametrically opposite
diamètre *m.* diameter; bore; circle (of a propeller)
diaphragme *m.* diaphragm
diapositif *m.* diapositive, transparent positive
Diesel, Rudolph (1858-1913) *German engineer, inventor of the Diesel engine; moteur Diesel Diesel engine (an internal combustion engine in which ignition is obtained spontaneously by injection of the fuel into a cylinderful of highly compressed air)*
différemment differently
différence *f.* difference
différencier to differentiate, distinguish
différent different
différentiel *m.* differential
différer to differ
difficile difficult
difficulté *f.* difficulty
diffus diffuse, diffused
digne worthy
dignité *f.* dignity
digue *f.* dike, jetty, pier
dilatation *f.* expansion
dilater (se) to expand
dimension *f.* dimension, size
diminuer to diminish, decrease
diminution *f.* decrease, diminution
diode *f.* diode
Diouris *small stream in Brittany*
dire to say, tell, call; **pour ainsi** —, so to speak; **au** — **de** in the words of; **à vrai** —, truly; *see* **autant**
direct direct; *see* **prise**
directeur *m.* director; *adj.* —**teur**, —**trice** directing, guiding

- direction** *f.* direction; *see* **gouvernail**
directive *f.* instructions, directions
directrice *f.* guide-vane; — mobile wicket gate
dirigeable *m.* dirigible
diriger to direct, guide, send; *se* —, go
discerner to discern, distinguish
discontinu discontinuous, intermittent
discontinuité *f.* discontinuity
discours *m.* speech, talk
discussion *f.* discussion, debate
discuter to discuss
disjoncteur *m.* cut-out
disparaître to disappear
dispendieux expensive
dispenser (de) to free (from), dispense (with), do away (with)
disperser to disperse, scatter
disponible available
disposer to place, arrange; — *de* use, make use of, have at one's disposal, have for sale; *se* — à prepare to
dispositif *m.* device, arrangement
disposition *f.* arrangement, service, plan
disque *m.* disk; valve head
disséminer to scatter
dissolution *f.* solution; dissolution
dissolvant *m.* solvent
dissoudre (se) to dissolve
distance *f.* distance; **de** — **en** —, at intervals
distillation [l *not liquid*] *f.* distillation
distiller [l *not liquid*] to distill
distinct distinct, different
distinctif distinctive
distinction *f.* distinction, eminence
distingué distinguished
distinguer to distinguish
distorsion *f.* distortion
distribuer to distribute
distributeur *m.* distributor, regulator, guide-vane apparatus
distributeur-jaugeur *m.* measuring or gauging distributor
distribution *f.* distribution; valve gear; timing gear; *see* **arbre, engrenage, tableau, tension**
dit called, so-called
divergent diverging
divers various, different, varied
diversité *f.* diversity
divinité *f.* divinity
diviser (se) to divide
division *f.* division
dixième *m.* tenth
dizaine *f.* about ten, ten
dm. = **décimètre**
docteur *m.* doctor; — **honoris causa** honorary doctor's degree
doctrine *f.* doctrine
domaine *m.* domain, province
domestique domestic, house
domiciliaire of a house or houses
dominant dominant; predominant
dominer to overlook
dommage *m.* injury, harm

donc therefore, and so, then
donnée *f.* quantity, known quantity; datum; idea, notion
donner to give; — **lieu à**, — **naissance à** give rise to
dont whose, of which
dorénavant henceforth
dos *m.* back; **en** — **d'âne** saddle-backed
doter to furnish, supply
doublage *m.* lining
double double; *see* **effet**, **traction**
doubler to double, supplement; line
doublure *f.* fold
douer to endow
douille *f.* socket, sleeve, bushing
douleur *f.* pain, sorrow
doute *m.* doubt; **sans** —, doubtless
douteux uncertain
dou-x, **-ce** soft, gentle, easy; fresh
douzaine *f.* dozen, about twelve
dresser to raise, set up; stand up, straighten; draw up
droit *m.* right; *adj.* right; straight; — **e** right hand; straight line; *see* **reprandre**, **soupape**
dû *from* **devoir** due
Ducos du Hauron, Louis (1837-1920) *French physicist, first to produce colored photographs*
ductile ductile, pliant
dune *f.* dune
dur hard
duralumin *m.* duralumin

durant during
durcir to harden
durée *f.* duration, life
durer to last
dureté *f.* hardness
dynamique *f.* dynamics
dynamo *f.* dynamo; — **excitatrice** exciter; *see* **groupe**
dyne *f.* dyne

E

eau *f.* water; — **salée** salt water; — **x ammoniacales** ammoniacal liquor; — **oxygénée** oxygenated water, hydrogen dioxide; *see* **prise**, **vapeur**
eau-mère *f.* mother liquor
ébonite *m.* ebonite
ébranler to shake
ébullition *f.* boiling; *see* **entrer**
écart *m.* margin, deviation
écartement *m.* distance apart, gauge (*of tracks*)
écarter (**s'**) to diverge
échafaud *m.* scaffold
échafaudage *m.* scaffolding
échancrer to cut, notch, groove
échange *m.* exchange
échantillon *m.* sample, specimen
échappement *m.* exhaust; outlet
échapper (**s'**) to escape, run off; — **à or de** escape, get away from, be lost to
échauffement *m.* overheating; heating; *see* **courant**
échauffer to heat; **s'**—, become heated, get hot
échec *m.* failure

échelle *f.* scale; ladder
 échelonner to place at intervals
 éclairage *m.* lighting, illumination; *see* pétrole
 éclairant *adj.* lighting
 éclaircir to clear, brighten
 éclairé enlightened
 éclairer to light, illuminate
 éclaieur *m.* scout
 éclat *m.* luster, brilliancy, splendor
 éclater to burst, break out
 école *f.* school; *see* polytechnique
 écolier *m.* schoolboy
 économie *f.* economy, saving
 économique cheap, economic
 économiser to save
 écorce *f.* crust
 écoulement *m.* running off, draining
 écouler to drain off, let out;
 s'—, flow out, run out, pass
 écouteur *m.* receiver, earphone
 écran *m.* screen
 écrasement *m.* crushing
 écraser to crush
 écrier (s') to exclaim
 écrire to write; *see* machine
 écrit *m.* writing, work
 écriture *f.* writing
 édifice *m.* structure, building
 édition *f.* editing; *see* maison
 effacement *m.* turning, flattening
 effacer (s') to disappear; —
 dans le lit du vent come up
 into the wind
 effectif actual, effective
 effectuer to effect, carry out;
 s'—, take place, be effected

effervescence *f.* effervescence
 effet *m.* effect, result; à simple
 —, single acting; à double
 —, double acting; — parasite
 interference, disturbance;
 à cet —, for this purpose;
 en —, indeed; *see* joue
 efficace effective
 efficacement efficiently, effectively
 efficacité *f.* efficacy, efficiency
 effilé tapering
 efforcer (s') to try, endeavor
 effort *m.* effort, force; — de
 traction tractive effort
 effrayant frightful, appalling
 égal equal, even
 également equally, likewise
 égaler to equal
 égard *m.* respect
 égouttoir *m.* drainer
 Égypte *f.* Egypt
 Eiffel, Alexandre Gustave
 (1832–1923) *French engineer*
 who built the iron tower in
 Paris named for him; the
 tower is 300 meters high and
 was built in 1889
 élaborer to elaborate, work out
 élargir to widen
 élargissement *m.* widening
 élasticité *f.* elasticity
 élastique elastic; *see* manchon
 Elbe Elba (*small island in the*
 Mediterranean east of Cor-
 sica)
 électricité *f.* electricity
 électrification *f.* electrification
 électrifier to electrify
 électrique electric
 électro *m.* electro-magnet

- électroaimant** *m.* electro-magnet
électrochimique electrochemical
électrode *f.* electrode; *see* **lampe**
électrodynamique *f.* electrodynamics
électrogène generating (*electricity*); *see* **groupe**
électrolysable electrolysable
électrolyse *f.* electrolysis; *see* **bain**
électrolyser to electrolyze
électrolyte *m.* electrolyte
électrolytique electrolytic
électromagnétique electromagnetic
électromagnétisme *m.* electromagnetism
électrométallurgie *f.* electrometallurgy
électromètre *m.* electrometer
électromoteur *m.* electromotor (*source of electric current*); motor; *adj.* -teur, -trice electromotive
électron *m.* electron
électronique electronic
électro-pneumatique electro-pneumatic
électroscope *m.* electroscope
électrostatique electrostatic
élégance *f.* elegance
élégant elegant
élément *m.* element, part; (*of a storage battery*) cell; —s **de réduction** end cells; *see* **Leclanché**
élémentaire elementary
élévation *f.* elevation, raising, rise
élève *m.* pupil, student
élevé high, elevated; lofty
élever to raise, step up; **s'—**, rise; amount
El-Guisr El Gisir (*archeological site, ridge, and town on the isthmus of Suez*)
élimination *f.* elimination
éliminer to eliminate
élire to elect
ellipse *f.* ellipse
elliptique elliptical, flat
éloge *m.* praise, eulogy; — **académique** address before the Academy (*eulogy pronounced by a new member of the Academy on the deceased member whose seat he is to fill*)
éloigné far, distant
éloigner to remove, pull away; **s'—**, recede, go away
élucider to elucidate
émailler to enamel, glaze
émanation *f.* emanation
émancipa-teur, -trice emancipating
émaner to emanate
emballage *m.* packing
emballement *m.* racing
emballer to pack
emboîter (s') to fit, interlock
embouchure *f.* opening, mouth
embouti pressed
embranchement *m.* branch, branch line
embrancher (s') to be joined, be branched
embrayage *m.* clutch
embryon *m.* embryo
émerger to emerge
émetteur *m.* transmitter, sending apparatus; — **à lampes**

- tube transmitter, C.W.
 transmitter; *adj.* -teur,
 -trice sending, transmitting;
see lampe, poste
 émettre to emit, send out,
 transmit, utter; — **en télé-**
phonie radiocast; — **en**
télégraphie transmit by code
 éminemment eminently
 éminent eminent
 émission *f.* sending, transmis-
 sion; broadcasting; emis-
 sion; — **à étincelles** spark
 transmission; — **à arc** or
par arc arc transmission;
see station
 emmagasinage *m.* storing
 emmagasinement *m.* storing,
 accumulation
 emmagasiner to store, store
 up
 emménagements *m. pl.* ac-
 commodations, appoint-
 ments
 emparer: **s'— de** to seize, as-
 similate
 empâter to paste, smear
 empêcher to prevent
 empennage *m.* fin, tail-plane,
 empennage
 empierrement *m.* stone ballast,
 macadamizing, ballasting
 empilage *m.* checker work
 empiler to pile up
 empiriquement empirically
 emplacement *m.* location, site
 emploi *m.* employment, posi-
 tion, use
 employé *m.* clerk
 employer to use
 exporter to carry away, take;
l'— (sur) outweigh, exceed
 empreinte *f.* impression, im-
 press
 emprisonner to imprison, hold
 tight
 emprunter (**à**) to borrow
 (from)
 émulsion *f.* emulsion
 émulsionner to emulsify, roll
 with emulsion
 en in, at, into, of, by, while;
pron. some, any; of, from or
 with it, her, him, them; *see*
 autant, être
 encaustique *m.* polishing wax;
 — **à parquet** floor wax
 enceinte *f.* enclosure, chamber
 enclenchement *m.* coupling,
 interlocking
 enclencher to couple, inter-
 lock
 enclume *f.* anvil
 encoche *f.* notch
 encombrant cumbersome, tak-
 ing up too much room
 encombre *m.* accident
 encombrement *m.* space occu-
 pied, obstruction, bulk
 encore still, yet, again, also,
 further; **ou —**, or else; —
que although
 encourageant encouraging
 encouragement *m.* encourage-
 ment
 encrassement *m.* fouling
 encyclopédie *f.* encyclopedia
 endroit *m.* place
 enduire to coat
 enduit *m.* coating, facing
 énergie *f.* energy; — **interne**
 potential energy
 énergétique energetic
 enfer *m.* hell, inferno

enfermer to close, enclose
enfin finally
enflammer to set fire to, cause to burn, ignite; **s'—**, catch fire
enfouir to bury
enfourn-eur, -euse charging
engager to fit, insert; agree to; **s'—**, enter; agree, bind one-self
engendrer to generate, produce, set up
engouement *m.* infatuation
engrais *m.* fertilizer
engrenage *m.* gear, gearing; **—s de distribution** timing gears
engrener to be geared
enlever to remove, take away; lift; **— à** take away from
enlissement *m.* sinking in sand
ennemi *m.* enemy
énoncé *m.* statement, expression
énoncer to state, express
énorme huge, enormous
énormément enormously, immensely
enrayer to check
enregistrement *m.* recording, record
enregistrer to record
enregistreur *m.* recorder; *adj.* recording
enricher to enrich
enrober to wrap
enroulement *m.* winding
enrouler to wrap up, wind, wind up
enseignement *m.* teaching, instruction
enseigner to teach

ensemble *m.* whole, group; **d'—**, general; *adv.* together
enserrer to enclose
ensoleillement *m.* sunning, insolation
ensuite afterwards, later
ensuivre (**s'**) to follow
entailler to cut
entasser to pile, heap up
entendre to hear; **bien entendu** of course; **s'—**, come to an understanding
enterrer to bury
enthousiasme *m.* enthusiasm
entier entire, whole; entirely devoted; **en —**, entirely
entièrement entirely
entourer to surround
entraînement *m.* carrying over; driving, pulling; translation
entraîner to carry along, carry over, keep going; involve; drive
entrave *f.* hindrance, obstacle
entraver to hinder
entre between, among; **d'—**, of; **— eux, — elles** together
entrée *f.* entrance; inlet
entrefer *m.* air-gap
entreprendre to undertake
entrepreneur *m.* contractor, builder
entreprise *f.* undertaking, enterprise
entrer to enter, be admitted; **— en ébullition** begin boiling; **— en fonctionnement** begin to work
entre-rail *m.* space between the rails
entretenir to maintain, carry on
entretenu *see* **onde**

- entretien** *m.* care, upkeep, maintenance
entretoise *f.* cross-brace
entretoisement *m.* counter-bracing, mutual bracing
entretoiser to brace, cross-brace
entrevoir to foresee, catch a glimpse of
énumération *f.* enumeration
énumérer to enumerate
enveloppe *f.* bag, envelope
envelopper to surround
environ about; *m. pl.* environs;
aux — **s** de near, around
environnant surrounding
environner to surround
envisager to face, consider
envoi *m.* sending
envoyer to send, send out; —
dans le monde broadcast
éolienne *f.* wind motor, wind-mill
épais, -se thick
épaisseur *f.* thickness
épaissir (s') to thicken
épingle *f.* pin
époque *f.* epoch, time, period
épouser to marry; take the form of, follow
épreuve *f.* trial, test, experiment, proof; *see* **mettre**
éprouver to undergo, experience
éprouvette *f.* test tube; gauge
épuisement *m.* exhaustion
épuiser to exhaust, use up
épuration *f.* purification
épurer to purify, refine
équation [ekwa-] *f.* equation
Équatorial [ekwa-] Equatorial; *see* **Afrique**
équilibre *m.* equilibrium; *see* **tenir**
équilibrer to balance
équipement *m.* equipment, crew; *see* **poste**
équiper to equip
équivalent equivalent
équivaloir (à) to be equivalent (to)
erg [g sounded] *m.* erg (*unit of physical measurement*); *erg* (*name given to regions of the Sahara occupied by moving dunes as opposed to stony plateaus*)
ergot *m.* lug
erreur *f.* error, mistake
escalier *m.* stairway
esclavage *m.* slavery
escompte *m.* discount, discounting
espace *m.* space; — **vide** vacuum; open space
espèce *f.* sort, kind, species
espérance *f.* hope
espérer to hope
espoir *m.* hope
esprit *m.* mind, spirit
esquisse *f.* sketch, outline
essai *m.* test, trial
essayer to try
essence *f.* gasoline
essentiel essential
essieu *m.* axle
essor *m.* flight, swing, progress
essoreuse *f.* drying machine
est [st sounded] east; **chemin de fer de l'Est** railroad from Paris to Germany and Switzerland
estime *f.* dead-reckoning

estimé valued
estimer to estimate, think
estuaire *m.* estuary
établir to establish, build, make
établissement *m.* building, establishing; colony; works, company; — **de plans** surveying; **de premier** —, initial
étage *m.* stage, tier
étain *m.* tin
étalages *m. pl.* boshes
étale slack
étalonnage *m.* standardizing, calibration
étanche tight, water-tight, air-tight
étanchéité *f.* tightness (*air, water, etc.*)
étape *f.* stage
état *m.* state, condition; government; profession, location, calling; **à l'— de liberté** in the free state
état-major *m.* staff
États-Unis *m. pl.* United States
éteindre to extinguish, put out
éteint extinct
étendre to dilute; extend; **s'—**, extend
étendu extensive, long
étendue *f.* extent
éternel eternal
éther [*r sounded*] *m.* ether
éthylénique ethylene
étiage *m.* low-water mark
étincelle *f.* spark; *see* **émission, poste**
étirer to draw out, roll
étouffe *f.* cloth, material
étoile *f.* star; **place de l'Étoile** square at the west end of the

Champs-Élysées into which twelve avenues converge; see
grand-croix
étonnant astonishing
étonnement *m.* surprise, astonishment
étonner (s') to be astonished (*de at*)
étoupe *f.* packing, waste; *see* **boîte**
étrange strange
étranger foreign, strange; **à l'—**, abroad, in foreign lands
étranglement *m.* throttling, choking
être to be; **il en est ainsi** such is the case; **il en est de même** the same is the case; **il n'en est rien** such is not the case; **il est** there is, there are; **c'est là** that is; **soit** that is; let there be; given; **soit . . . soit** either . . . or; **qu'ils soient . . . ou** either . . . or; *n. m.* being; *see* **impossibilité**
étroit close, narrow; *see* **voie**
étude *f.* study, research; designing; *see* **faire**
étudier to study; design
étuve *f.* oven
eux *chemical suffix* -ous
évacuation *f.* evacuation, exhaust
évacuer to evacuate
évaluer to estimate, value
évaporation *f.* evaporation
évaporatoire evaporating
évaporer to evaporate
évent *m.* aperture, air hole
éventail *m.* fan; **en —**, fan-shaped
éventuel eventual

- évidemment** evidently
évidence *f.* evidence; **de toute** —, fully evident
évident evident
évider to hollow out
évitement *m.* turnout, siding;
see **boucle**
éviter to avoid, prevent
exactitude *f.* exactness, accuracy
exagéré extreme
exagérément too much
exagérer to exaggerate, make too large
examen *m.* examination
examiner to examine
excédent *m.* excess; — **de puissance** margin of power
excellence *f.* excellence
excentrique *m.* eccentric
excepter to except, make an exception of
exception *f.* exception; **à l'—** **de** with the exception of
exceptionnel exceptional
exceptionnellement in exceptional cases
excès *m.* excess
excessif excessive
excessivement excessively, extremely
excita-teur, -trice exciting;
see **dynamo**
excitatrice *f.* exciter
exciter to excite
exclure to exclude
exclusif exclusive
exécuter to execute, carry out
exécution *f.* execution, performance
exemple *m.* example; **par —**, for example; of course
exempt exempt, free
exercer to exercise, exert, train
exercice *m.* exercise, practice
exigence *f.* requirement
exiger to require
existence *f.* existence
exister to exist
expansion *f.* expansion
expédier to ship
expédition *f.* shipment, shipping, expedition
expérience *f.* experiment, experimentation; experience
expérimental experimental
expérimentateur *m.* experimenter
expérimentation *f.* series of experiments
expérimenter to test, try out, experiment
explication *f.* explanation
expliquer to explain; **s'—**, understand
exploitant *m.* contractor, producer; management
exploitation *f.* exploitation, operating, operation
exploiter to farm, work, exploit
explorateur *m.* explorer
exploration *f.* exploration
explorer to explore
explosion *f.* explosion; *see* **moteur**
exporter to export
exposé *m.* exposition, account
exposer to expose, explain, expound
exposition *f.* exposition, statement
express [ss *sounded*] *m.* express train
expressément expressly

expression *f.* expression, form
exprimer to express
expulser to expel
extérieur *m. & adj.* outside
extérieurement on the outside
extinction *f.* extinction, going out
extraction *f.* extraction
extrados *m.* extrados, top face
extraire to extract
extraordinaire extraordinary
extrême extreme; à l'—, to an extreme
extrémité *f.* end, extremity

F

fable *f.* fable
fabricant *m.* manufacturer
fabrication *f.* manufacture, manufacturing
fabriquer to make, manufacture
face *f.* face, aspect, appearance; **en — de** opposite; — à facing; *see* **faire**
fâcheux annoying, unpleasant
facile easy
facilité *f.* ease, facility
faciliter to facilitate
façon *f.* manner, way; **de — que** so that, with the result that; **de — à** so as to; **de ... —, in ... way**
facteur *m.* factor
facture *f.* style, composition
faculté *f.* faculty, power, right
faible weak, slight, low, light, small
faiblement slightly
faiblesse *f.* weakness, lowness
faiblir to become weak
faim *f.* hunger
faire to make, do, cause, form; **se —, take place, become; ne — que + inf.** only; — **abstraction de** take away; — **aller** move, work; — **attention** be careful; — **autorité** be authoritative; — **ses classes** study, learn; — **communiquer** connect; — **un cours** give a course; — **défaut** be lacking; — **ses études** study; — **face à** offset; — **fonctionner** run; — **part** inform, acquaint; — **partie de** form a part of; — **de la radiotéléphonie** talk by radio; — **retour** return; — **sortir** bring out, develop; — **le tour de** go around; *see* **autant**
faisceau *m.* bundle, group, sheaf; — **lumineux** pencil of light, beam (*parallel, convergent or divergent*)
fait *m.* fact; **de ce —, from this fact, hence; du — que** from the fact that; **du — de** because of; **en —, as a matter of fact**
faîte *m.* watershed; *see* **ligne**
falaise *f.* cliff
falloir *impers.* to be necessary; take; **il s'en faut de beaucoup que** it is far from being true that
familiariser to familiarize
familier familiar
famille *f.* family
famine *f.* famine
fastidieux tedious, tiresome
fatalement fatally, inevitably

- fatigue *f.* fatigue
 fatiguer to strain, wear
 faute *f.* error; — **de** for want of
 fauteuil *m.* arm-chair
 faux-**x**, -sse false
 faux-fond *m.* false or movable bottom
 faveur *f.* favor
 fécond (de) fruitful, prolific (in)
 fécondité *f.* fecundity, wealth
 fécule *f.* starch
 feldspath [t sounded] *m.* feldspar
 feldspathique feldspathic
 f.é.m. = force électromotrice
 femme *f.* woman, wife
 fenêtre *f.* window; — à guillo-
 tine sash window
 fente *f.* crack, groove, slit
 féodal feudal
 féodalité *f.* feudalism
 fer *m.* iron; wrought iron; —
 oligiste oligistic iron, specular
 iron, hematite; — à T T-
 iron; — à cheval horseshoe;
 see carbonate
 ferme *f.* farm
 fermement firmly
 ferment *m.* ferment
 fermentation *f.* fermentation
 fermenter to ferment
 fermer (se) to close
 fermeture *f.* closing, sealing
 fermier *m.* farmer, lessee; —
 général farmer general (one
 of a group of financiers before
 the French Revolution who
 leased the public revenues)
 ferré *adj.* iron; see réseau, voie
 ferreux ferrous
 ferrique ferric
 ferroviaire *adj.* railroad
 fertilité *f.* fertility
 fétide fetid
 feu *m.* fire, flame; à — nu
 with the naked flame, with
 direct flame
 feuille *f.* leaf, sheet
 feuillet *m.* sheet, leaf, layer;
 — magnétique magnetic shell
 feuilleté foliated, laminated
 fidèle *m.* follower; *adj.* faith-
 ful, accurate
 fidélité *f.* faithfulness, ac-
 curacy
 fig. = figure
 figure *f.* figure
 figuré *m.* representation
 figurer to represent, figure
 fil [l sounded] *m.* thread, wire;
 — de cocon untwisted silk
 fiber; — métallique wire;
 sans —, wireless; see télé-
 graphie, téléphonie
 filament *m.* filament; see cir-
 cuit, courant
 file *f.* file, row; see chef
 filer to run
 filet *m.* fine stream; net, net-
 ting
 filière *f.* tap
 fils *m.* son
 filtrage *m.* filtering
 filtration *f.* filtration, filtering
 filtre *m.* filter
 filtre-pressé *m.* filter press
 filtrer to filter
 fin *f.* end, purpose; **en** — **de** at
 the end of; **sans** —, endless;
adj. fine, thin; see mener
 financier *m.* financier; *adj.*
 financial

- finesse** *f.* finesse, fineness (*a quality that characterizes the flying capabilities of an airplane from the point of view of least resistance*)
- finir** to finish
- Finistère** *m.* Finisterre (*department in the extreme northwest corner of France*)
- firme** *f.* firm
- fixation** *f.* setting, putting into place, fastening
- fixe** fixed
- fixer** to fix; establish, fasten
- flacon** *m.* flask, bottle
- flagrant** flagrant, notorious
- flamme** *f.* flame
- flanc** *m.* side, bosom
- flèche** *f.* arrow; rise (*of an arch*)
- fléchir** to bend
- Fleming, John A.** (1849—*English electrical engineer, professor of electrical engineering in the University of London, inventor of the Fleming valve from which the audion developed*)
- fleur** *f.* flower; — **de soufre** flowers of sulfur; **à — de** almost on a level with, close to
- fleuve** *m.* river
- flexibilité** *f.* flexibility
- flot** *m.* flow, flood tide
- flotte** *f.* fleet
- flotter** to float
- fluctuation** *f.* fluctuation
- fluide** *m. & adj.* fluid, gas
- fluidité** *f.* fluidity
- fluor** *m.* fluorine
- flux** *m.* flux
- foi** *f.* faith
- fois** *f.* time; **à la —**, at the same time
- foncé** deep, dark
- foncer** to drive, sink
- fonction** *f.* function; **en — de** as a function of
- fonctionnaire** *m.* official
- fonctionnement** *m.* running, operation, working, functioning; *see* **entrer**
- fonctionner** to function, work; — **en moteur** run as a motor; *see* **faire**
- fond** *m.* bottom; back; — **de course** bottom of the stroke; lower dead center; **au —**, at bottom
- fondamental** fundamental
- fondant** *m.* flux
- fondateur** *m.* founder
- fondement** *m.* foundation
- fonder** to found, establish
- fonderie** *f.* founding; foundry; *see* **atelier**
- fondre** to melt, cast
- fondus** molten
- fonte** *f.* cast iron, pig iron; **en —**, cast iron; *see* **venir**
- force** *f.* force, strength, power; — **ascensionnelle** lift, lifting power; — **motrice** motive power; — **vive** kinetic energy; **à — de** by strength of, with; — **s utiles** useful power; *see* **installation, régulateur, tour**
- forcément** necessarily
- forcer** to force, oblige; *see* **conduite, travail, ventilation**
- forer** to bore, drill; *see* **puits**
- forge** *f.* forge; — **catalane**

- Catalan furnace (*a furnace producing wrought iron without the intermediate stage of cast iron*)
- forg**er to forge, work
- format** *m.* size
- formation** *f.* formation, forming
- forme** *f.* form, shape, figure;
sous (1a) — **de** in the form of
- former** to form, train; **se** —, form
- formule** *f.* formula
- formuler** to formulate
- fort** strong, large, great, heavy, loud; *adv.* very, very much, hard, strongly
- fortement** strongly, hard, vigorously, forcibly, greatly
- fortuit** fortuitous, accidental
- fortune** *f.* fortune
- fortuné** fortunate
- fossile** fossil
- Foucault** [—*lt silent*], **Léon** (1819–1868) *French physicist; see courant*
- foule** *f.* crowd, lot, great number
- foulon** *m.* fuller; *see terre*
- four** *m.* oven, furnace; — **à coke** coke oven; — **de fusion** melting furnace; — **Martin-Siemens** Siemens-Martin furnace, open-hearth furnace; — **à puddler** puddling furnace; — **à réverbère** reverberatory furnace
- fourneau** *m.* furnace; **haut** —, blast furnace
- Fourneyron, Benoît** (1802–1867) *French engineer and authoritative writer on hydraulic turbines*
- fournir** to furnish
- foyer** *m.* hearth; fire-box; focus, source
- fr.** = franc
- fraction** *f.* fraction, section
- fractionnement** *m.* fractionating, fractionation
- fractionner** to fraction, fractionate
- fragile** fragile, brittle, breakable
- fragilité** *f.* fragility, weakness
- fragment** *m.* fragment, piece
- frais** *m. pl.* expenses; **à** — **communs** at joint expense
- frais, fraîche** fresh
- franc** *m.* French silver coin weighing five grams; *it is the French monetary unit*
- Français** *m.* Frenchman; *adj.* French
- France** *f.* France; *see collègue*
- franchement** openly, readily
- franchir** to cross, pass over
- Francis, James B.** (1815–1892) *American hydraulic engineer*
- frange** *f.* fringe
- Franklin** *see institut, médaille*
- frappant** striking
- frapper** to strike, strike down; be striking
- frayer** (se) to open
- frein** *m.* check, brake; — **à air comprimé** airbrake
- freinage** *m.* braking; — **par récupération** regenerative braking
- fréquemment** frequently
- fréquence** *f.* frequency; **haute** —, high frequency, (*in radio*) radio frequency;

basse —, low frequency,
(in radio) audio frequency
fréquent frequent
fretté hooped, iron-banded
friable friable, easily pulver-
 ized
frigorifique refrigerating, freez-
 ing
froid *m. & adj.* cold
fromage *m.* cheese
frottant rubbing, sliding
frottement *m.* friction, rubbing
frotter to rub
frotteur *m.* rubbing contact
fruit *m.* fruit, product
fuir to leak
fuite *f.* leak; *see* **canal**
fumée *f.* smoke; *see* **carneau**
fumerolle *f.* fumerole
fur: **au** — **et à mesure que** in
 proportion as
fuselage *m.* frame, fuselage
fusil *m.* gun; *see* **pierre**
fusion *f.* fusion, melting; *see*
four, point
fût *m.* barrel
futur future
fuyant tapering, receding,
 stream-line

G

g. = **gramme**
gabarit *m.* maximum structure
(of rolling stock), templet
gagner to reach, gain; — **de**
proche en proche spread
 through
gain *m.* gain
gaine *f.* sheath
galère *f.* galley; *pl.* compul-
 sory labor (*punishment of*

criminals by condemning
them to row on government
galleys)
galerie *f.* gallery
galet *m.* roller, pebble
Galilée Galileo (1564-1642)
Italian mathematician, phys-
icist and astronomer
Galles *f.* Wales
galvanisé galvanized
galvanomètre *m.* galvanometer
galvanoplastie *f.* electroplating
gamme *f.* scale
gangue *f.* gangue
garçon *m.* boy
garde *f.* guard; care; *see*
monter; *m.* guard, adjutant
garder to keep
gare *f.* station; — **de bifurca-**
tion junction station; — **de**
trriage station where trains
 are made up
garnir to fill, trim, line
garnissage *m.* filling
garniture *f.* lining, facing
gaspiller to waste
gâteau *m.* cake
gauche left, left hand
gaufrage *m.* stamping
gaufrier to stamp
Gaumont, Léon (1864-)
French inventor and manufac-
turer
Gay-Lussac, Joseph Louis
 (1778-1850) *French chemist*
and physicist
gaz *m.* gas; — **acide chlorhy-**
drique hydrochloric acid;
 — **des marais** marsh gas;
 — **carbonique** carbonic acid
 gas, carbon dioxide gas; —
 (**acide**) **sulfhydrique** hydro-

- gen sulfide; — **sulfureux**
 sulfur dioxide; — **de gueu-**
lard waste gas
gazeux gaseous, of gas
geler to freeze
gémissement *m.* moaning,
 groaning
génant annoying, in the way
gêne *f.* inconvenience
général *m. & adj.* general;
see chemin
généralement generally, in
 general
généralisation *f.* generalization
généralité *f.* generality
générateur *m.* generator; *adj.*
 -teur, -trice generating; *see*
lampe
génération *f.* generation
génératrice *f.* generatrix; gen-
 erator
générosité *f.* generosity
génial of a genius, genius-like
génie *m.* genius, intellect; en-
 gineers, engineering; — **civil**
 civil engineering; *see arme*
genou *m.* knee; *pl.* lap
genre *m.* gender, kind
gens *m.* people; **jeunes** —,
 young men; — **du monde**
 laity
géodèse *m.* geodesist
géodésie *f.* geodesy
géogénie *f.* geogeny
géognosie [*gn as two sounds*] *f.*
 geognosy
géographe *m.* geographer; *see*
ingénieur
géologie *f.* geology
géologique geological
géologue *m.* geologist
géométrie *f.* geometry
géométrique geometrical; *see*
lieu
gigantesque huge, gigantic
Girard, Philippe de (1775-
 1845) *French engineer and*
inventor
gisement *m.* bed, deposit
glacis *m.* sloping surface
Gladstone, J. H. (1827-1902)
English scientist, authority
on storage batteries
Gladstone, William (1809-
 1898) *famous English states-*
man
glisser to slide, glide
glissière *f.* slide, slide bar,
 guide
globe *m.* globe, earth
gloire *f.* glory
glycérine *f.* glycerin
gneiss [*gnēs*] *m.* gneiss
golfe *m.* gulf; *see Péluse*
gonfler to swell, inflate, pump
 up
goudron *m.* tar
goudronneux tarry
Goulier, Colonel (1818-1891)
French civil engineer and
army officer
goulotte *f.* gullet, channel
goût *m.* taste
gouttelette *f.* little drop, drop-
 let
gouvernail *m.* rudder; — **de**
direction vertical rudder;
 — **de profondeur** elevator,
 horizontal rudder
gouverne *f.* rudder, control
gouvernement *m.* government
grâce *f.* pardon, mercy; — **à**
 thanks to
graduel gradual

grain *m.* grain

graisage *m.* lubricating, lubrication; — **sous pression** forced lubrication; — **à barbotage à niveau constant** constant level splash lubrication; *see* **huile**

graisse *f.* grease

graisser to grease, lubricate

gramme *m.* gram

Gramme, Zénobe Théophile (1826-1901) *Belgian electrician and inventor*; **moteur**

Gramme Gramme ring

grand large, great, big; **en** —, on a large scale; *see* **axe**, **vitesse**

grand-croix *f.* grand cross; — **de l'Étoile de l'Inde** *insignia of the Most Exalted Order of the Star of India, granted by Great Britain for services rendered to the Indian Empire*

Grande-Bretagne *f.* Great Britain

grandeur *f.* size, quantity

grandir to increase

grand'peine *f.*: **à** —, with a great deal of trouble

granit *m.* granite

graphique graphical; *see* **tableau**

gras, grasse fat, soft

gratitude *f.* gratitude

gratuit free

grave grave, serious

graver to imprint, engrave

graveur *m.* engraver

gravité *f.* gravity, seriousness

gravure *f.* engraving

Grec *m.* Greek

Greenwich *English borough on*

the Thames five miles below London. It is from the Royal Observatory of Greenwich (established by Charles II in 1675) that longitude is reckoned

grenaille *f.* granulated metal; — **de plomb** small shot; — **de charbon** carbon granules

grès *m.* sandstone; — **cérame** stoneware

grever to burden, encumber

grille *f.* grate; rack (of *turbines*); grid (of *storage batteries and vacuum tubes*)

gris gray

grisâtre grayish

gris-verdâtre greenish gray

gros large, heavy, great; *see* **pneu, marchand**

grosneur *f.* size, bulk, bigness

grossièrement roughly

groupe *m.* group; unit; —

convertisseur motor-generator unit; — **convertisseur**

moteur-dynamo motor-generator unit; — **convertisseur**

rotatif rotary converter unit; — **électrogène** power

plant; — **électrogène** **convertisseur** motor-generator

unit; — **électrogène à essence** gasoline power plant;

— **moteur synchrone-dynamo** synchronous motor-

generator unit; — **moto-**

propulseur motor and pro-

pellor unit

groupement *m.* grouping, group; **le** — **OH** the hydroxyl group

grouper to group, gather

guère scarcely, hardly
guérison *f.* cure
guerre *f.* war
gueulard *m.* mouth, throat;
see gaz
guidage *m.* guiding, alignment
guide *m.* guide, guide rod,
slide bar
guider to guide
guillotine *f.* guillotine; *see*
fenêtre
gypse *m.* gypsum
gyroscopique gyroscopic; *see*
Anschütz

H

H = hydrogène
habile skilful, capable, able
habileté *f.* skill, ability
habiller to fit, equip
habitant *m.* inhabitant
habitation *f.* dwelling, habita-
tion; *see maison*
habiter to live in
habitude *f.* habit; *comme d'—*,
as usual
habituel usual
'hall *m.* hall, room
Hallé, Jean-Noël (1754-1822)
famous French physician of
the Revolutionary and Na-
poleonic period
halogène *m.* halogen
'hangar *m.* hangar, shed
'hardi bold, daring
'hardiesse *f.* boldness, daring
'hardiment boldly
harmonie *f.* harmony
harmonique harmonic
harmoniser (s') to harmonize
'hasard *m.* chance; *au —*, at
random

'hâter to hasten
'hauban *m.* stay wire
'haubannage *m.* bracing, stays
'haut high, tall, lofty; *de —*
en bas downwards; *plus —*,
above; *m.* top; — *de course*
top of the stroke, upper dead
center; *see fourneau, fré-*
quence
'hauteur *f.* height, depth, alti-
tude; *à la — de on* a level
with
'haut-parleur *m.* loud-speaker;
adj. loud speaking
hectare *m.* hectare
hectolitre *m.* hectoliter
hélice *f.* propeller, screw, air-
screw
hélicoïde helicoidal, spiral; (*of*
a turbine) downward-flow,
axial-flow
hélium [-iəm] *m.* helium
'Henri IV *see lycée*
herbe *f.* grass
héréditaire hereditary
'hérisser (se) to bristle
hermétiquement hermetically,
tightly
Héroult, P. T. *inventor of the*
first practical electric steel-
making furnace
hertzien Hertzian
hésiter to hesitate
heure *f.* hour, time; *de bonne*
—, early; *à l'—*, per hour,
an hour; *à l'— actuelle* at
the present time
heureusement fortunately
heureux happy, glad, good,
successful
'heurter: *se — à* to strike, hit
hexa- *chemical prefix* hexa-

hexafluorure *m.* hexafluoride
'hideux dreadful
hier yesterday
'hisser to raise
histoire *f.* history
historien *m.* historian
history historical, of history
hiver *m.* winter
'Hoggar (le) Ahaggar (*moun-
tainous region of the western
central Sahara*)
homme *m.* man; — **de bien**
worthy man; — **de cœur**
man of spirit; *see* **trou**
homogène homogeneous
homogénéiser to make homo-
geneous
homologue *m.* homologue
honneur *m.* honor; *see* **mettre**
honorable honorable, fitting
honoris causa *see* **docteur**
'honte *f.* shame, disgrace
horaire *adj.* pertaining to the
time of day; *see* **signal**
horizon *m.* horizon
horreur *f.* horror
'hors de outside of, away from,
out of, beyond
hostilité *f.* hostility
Hôtel-de-Ville *m.* City Hall
(*Paris*)
'houille *f.* coal; — **blanche**
white coal, water power
(*from rivers and streams*);
— **bleue** tide power; — **à**
coke coking coal; *see*
huile
'hourdis *m.* hollow brickwork,
pugging
huile *f.* oil; — **à cylindre pour**
vapeur steam cylinder oil;
— **de graissage** lubricating

oil; — **de houille** coal-tar
oil; — **de lard** lard oil
huileux oily
huissier *m.* usher
humain human
humanité *f.* humanity
humiliant humiliating
hydracide *m.* hydracid, halo-
gen acid
hydrate *m.* hydrate, hydroxide
hydraté hydrated
hydraulique hydraulic; *see*
roue, usine
hydrocarboné *adj.* hydrocar-
bon
hydrocarbure *m.* hydrocarbon
hydro-électrique hydroelectric
hydrogène *m.* hydrogen
hydrographe *m.* hydrographer;
adj. hydrographic
hydrographique hydrographic
hydro-pneumatique hydro-
pneumatic
hygrométrique hygrometric
hypo- *chemical prefix* hypo-
hyposulfite *m.* hyposulfite,
thiosulfate
hyposulfureux hyposulfurous,
thiosulfuric
hypothèse *f.* hypothesis

I

ici here; **d'**— **longtemps** for a
long time; *see* **jusque**
idée *f.* idea
identique identical
idiome *m.* idiom
ignoré (de) unknown (to)
ignorer to be ignorant of *or*
unaware of, not to know,
fail to know

- île f.* island
illimité limitless
illustre illustrious, famous
image f. image
imagination f. imagination
imaginer to conceive, think out; imagine; *s'—*, imagine
imbattable invincible
immaculé immaculate, pure
immatériel immaterial
immédiat immediate, at hand
immédiatement immediately, at once
immense immense, important, great
immerger to immerse
immeuble m. real estate, property
immobile motionless
immobiliser to stop, make inactive
immortaliser to immortalize
immortalité f. immortality
immortel immortal
immunisation f. immunization
impassible unaffected
impérieux imperative
impérissable imperishable, undying
impliquer to involve, imply
importance f. importance, size
important important, large
importer to matter, be of importance; *n'importe* quel any; *n'importe* comment any way (at all); *n'importe* où anywhere; *n'importe* quand at any time
imposer to impose, require, make necessary; *s'—*, become required
impossibilité f. impossibility; être *or* se trouver dans l'— de to be unable to
impôt m. tax
imprégner to impregnate
impressionner (par) to expose (to)
imprévu unforeseen
imprimer to impart
impropre unfit, unsuitable
impuissant powerless
impulsion f. impulse, impetus; *see* turbine
impur impure
impureté f. impurity
imputer to impute
inactif inactive
inaltérable unalterable
inaltéré unaltered
inaperçu unnoticed
inapplicable inapplicable, unsuitable
inattaquable unattackable; — par l'acide sulfurique resisting sulfuric acid
inauguration f. inauguration
incandescence f. incandescence
incandescent incandescent, white hot
incapacité f. incompetency, incapacity
incertain uncertain
incessant constant
inclinaison f. inclination
incliner to incline, tilt, slant
incolore colorless
incommode inconvenient
incommodité f. inconvenience
incomplet incomplete
inconnu unknown
inconnue f. unknown quantity
incontestable undeniable

incontestablement incontestably, undeniably

inconvenient *m.* inconvenience

incorporer to incorporate, mix

incurvé curved

Inde *f.* India; *see* **grand-croix**

indéfiniment indefinitely

indéformable inseparable, undetachable

indépendamment independently

indépendance *f.* independence

indépendant independent

indésirable undesirable

indicateur *m.* indicator

indication *f.* indication

indice *m.* mark, sign

indifféremment indifferently

indifférent indifferent

indiquer to indicate, point out

indiscuté unquestioned, beyond a doubt

individu *m.* individual

individualité *f.* individuality

Indo-Chine *f.* Indo-China (*the southeastern peninsula of Asia*)

inducteur *m.* field; *adj.* -teur, -trice inducing, primary; *see* **système**

induction *f.* induction

induire to induce

induit *m.* armature

industrie *f.* industry

industriel industrial

inégal unequal, unlike

inépuisable inexhaustible

inerte inert, lifeless

inertie *f.* inertia

inestimable priceless

inévitabile inevitable

inexistant nonexistent

inférieur (à) lower, less (than), at the bottom, inferior

infériorité *f.* inferiority

infini infinite; à l'—, infinitely, ad infinitum

infiniment infinitely, far; les — **petits** infinitesimal creatures

infinité *f.* infinity

infinitésimal infinitesimal

inflammation *f.* ignition, burning, inflammation; *see* **point**

influence *f.* influence

influencer to influence

influer (sur) to influence

informer to inform

infranchissable impassable

ingénieur *m.* engineer; — **géographe** topographical engineer, cartographer; — **hydrographe** hydrographer; — **des mines** mining engineer; — **des ponts et chaussées** civil engineer, government highway engineer

ingénieux ingenious

ingrédient *m.* ingredient

inhérent inherent

ininterrompu uninterrupted

initiative *f.* initiative

injecter to inject

injecteur *m.* injector

injection *f.* injection

innocence *f.* innocence

innovation *f.* innovation

inquiéter: s'— de to worry, bother about

inscrire to inscribe

insérer to insert, put in circuit

insignifiant insignificant

insister to insist, stress

insoupçonné unsuspected

inspiration *f.* inspiration

inspirer to inspire, instil

instable unstable

installation *f.* plant, installation, set; — **de chauffage** heating plant; — **de force** power plant

installer to install

instant *m.* instant, moment

instantanément instantly

instinct *m.* instinct

institut *m.* institute; **Institut**

de France the group of five

Academies of learning at

Paris: l'Académie française,

l'Académie des Sciences,

l'Académie des Inscriptions

et Belles-Lettres, l'Académie

des Sciences morales et politi-

ques and l'Académie des

Beaux-Arts; Institut Pas-

teur founded at Paris in 1886

for the study of biological

chemistry: Institut Franklin

Franklin Institute (a scien-

tific and engineering society

founded in 1824 as a memo-

rial to Benjamin Franklin,

for the encouragement of in-

vestigation in pure and ap-

plied sciences; located in

Philadelphia)

instruire to teach, train, educate

instrument *m.* instrument; — **s de bord** tools and repair material

insuccès *m.* failure

insuffisance *f.* insufficiency, inadequacy

insuffisant insufficient

insufflation *f.* blast, breath, insufflation

intégral integral

intégralement entirely, wholly, in its entirety

intellectuel intellectual

intelligence *f.* intelligence

intelligent intelligent, learned

intempérie *f.* bad weather

intense intense, heavy (*of traffic*)

intensité *f.* intensity

intensivement intensely, extremely

intention *f.* intention

intercaler to intercalate, put in, sandwich

interchangeabilité *f.* interchangeability

interdire to forbid

intéressant interesting

intéresser to interest, concern, involve

intérêt *m.* interest, advantage; *see* **chemin**

intérieur *m. & adj.* inside; — **des terres** inland

intérieurement on the inside

intermédiaire *m.* medium, agency; **par l'— de** by means of; *adj.* intermediate, intermediary

interne internal, inside; *see* **énergie**

interpolation *f.* interpolation

interposer to interpose, put in

interrompre to interrupt, break; — **et rétablir** to make and break

interrupteur *m.* switch, interrupter

interruption *f.* interruption

intersection *f.* intersection
interstice *m.* interstice
inter-urbain interurban
intervalle *m.* interval, space; clearance
intervenir to intervene, interpose, come in, come into play
intervention *f.* intervention, agency
intime close, intimate; internal
intimement closely, intimately
intrados *m.* intrados, bottom face
introduction *f.* introduction, putting in
introduire to introduce, put in
intuition *f.* intuition
inusable *adj.* that cannot be used up or worn out
inutile useless, unnecessary
inutilisable useless, unserviceable
inutilisé unutilized
invariablement constantly
inventer to invent
inventeur *m.* inventor
invention *f.* invention, discovery
inverse *m.* reverse; *adj.* inverse, opposite, contrary; *see sens*
inverser to reverse
inversion *f.* reversal
investigation *f.* investigation
ique *chemical suffix* -ic
irréductible irreducible
irrégularité *f.* irregularity
irrégulier irregular
irrésistiblement irresistibly
isolant *m.* insulator, insulating material; *adj.* insulating
isolateur *m.* insulator

isolement *m.* insulation
isoler to isolate, separate; insulate
isthme [th silent] *m.* isthmus
ite *chemical suffix* -ite
itinéraire *m.* route

J

jaillir to spout, gush forth; jump
jambe *f.* leg
Janet, Paul (1863—) *professor of the Faculty of Sciences of the University of Paris and director of the central laboratory of the École Supérieure d'Électricité*
Janicot, Xavier *mining engineer and high railway official*
jante *f.* face, rim
janvier *m.* January
jaunâtre yellowish
jaune yellow; — **citron** lemon-yellow
jet *m.* jet, stream
jeter to throw; lay (*a foundation*); **se** —, empty
jeu *m.* play, action; set; gambling
jeune young; *see gens*
joie *f.* joy
joindre to join, add
joint *m.* joint
joli pretty, nice
joncher to strew, cover
jonction *f.* joining, connection
joue *f.* cheek, side
jouer to play
jouet *m.* plaything, toy
joug [g sounded] *m.* yoke

jouir (de) to enjoy, possess
joule *m.* joule; *named for*
Joule, John Prescott (1818–
 1889) *English physicist who*
established important laws
with reference to the mechani-
cal theory of heat; effet —,
Joule effect
jour *m.* day; **de — en —**, from
 day to day; **de nos —s** now-
 adays; **jusqu'à ce —**, up to
 the present time; **quinze —s**
 two weeks
journalier daily
journée *f.* day
journellement daily
judicieux judicious
jugé *m.* judge, justice
jugement *m.* judgment
juger to judge
juif *m.* Jew
juillet *m.* July
juin *m.* June
jumeau twin; *see* **souterrain**
jumelé double, twin; *see*
poutre
jusant *m.* ebb tide
jusque even; **—là** until then;
jusqu'à until, as far as, up
 to, even; **—à ce que** until;
—ici up to the present; **il**
n'y a pas —à ... qui ne
 even
Jussieu, Antoine-Laurent de
 (1748–1836) *French bota-*
nist, nephew of Bernard de
Jussieu
Jussieu, Bernard de (1699–
 1777) *French botanist*
juste just, fair; **au —**, exactly
justement justly, rightly; just,
 precisely

justesse *f.* accuracy
justice *f.* justice
justifier to justify

K

kaolin *m.* kaolin
Kastner *see* **prix**
K.-D.- B. = Keller-Dorian-Ber-
thon
Kégresse-Citroën [—**en**] *cater-*
pillar tractor invented by M.
Kégresse, and adopted and
manufactured by the Citroën
automobile firm
Keller-Dorian, Albert *manu-*
facturer of Lyons
kg. = kilogramme
kilo *m.* kilogram
kilogramme *m.* kilogram
kilogrammètre *m.* kilogram-
 meter
kilomètre *m.* kilometer
kilowatt [—**wat**] *m.* kilowatt
kilowatt-an *m.* kilowatt-year
kilowatt-heure *m.* kilowatt-
 hour
kiosque *m.* shed, small building
km. = kilomètre

L

là there; *see* **jusque, même**
laboratoire *m.* laboratory
laborieux diligent, industrious
lac *m.* lake; *see* **amer, Con-**
stance
laçage *m.* lacing
La Caille, Nicolas-Louis de
 (1713–1762) *French mathe-*
matician
La Chenaie *village of the de-*

- partment of Indre, in the center of France*
lactique lactic
Lagrange, Joseph-Louis (1736-1813) famous French geometer
laisser to leave, let; — **de côté** to leave aside
lait *m.* milk; — **de chaux** milk of lime
laitage *m.* milk diet
laitier *m.* slag, cinders; *adj.* milk; *see* **sortie**
laiton *m.* brass
Lakehurst, N.J. location of the large United States government hangar for dirigibles
Lamarck, Jean (1744-1829) famous French naturalist
lame *f.* strip, plate, blade
laminer to roll
laminoir *m.* roller, rolling mill
La Motte - Piquet - Grenelle Paris subway station on the Boulevard de Grenelle at the southern end of the Avenue de la Motte-Piquet
lampant *m.* kerosene; *adj.* purified, suitable for burning in a lamp; *see* **pétrole**
lampe *f.* lamp, oil lamp; audion, tube; — **à deux électrodes** two-element vacuum tube; — **à trois électrodes** three-element vacuum tube; — **triode** three-element vacuum tube; — **émettrice** power tube; — **génératrice** power tube; — **à incandescence** incandescent lamp; — **à pétrole** coal-oil lamp; — **témoin** indicator lamp; — **à vide** vacuum tube; *see* **émetteur, poste, récepteur**
lancement *m.* starting, cranking
lancer to throw, start, crank
langage *m.* language
langue *f.* language
languir to languish
lanterne *f.* lantern, window; — **vitree** glass gauge
lard *m.* bacon; *see* **huile**
large wide, broad
largement amply, abundantly
largeur *f.* width
lassitude *f.* sagging
latéral lateral, on the side; *see* **soupape**
lauréat *m.* laureate, prize-winner
Laussedat, Aimé (1819-1907) French army officer and scientist; perfected geodetic photography
lavage *m.* washing
laver to wash
laveur *m.* washer, purifier
Lavoisier, Antoine-Laurent (1743-1794) one of the creators of modern chemistry
Leclanché, Georges (1839-1882) French chemist, inventor of the battery which bears his name; **élément Leclanché** Leclanché cell (*precursor of modern dry cell*)
lecteur *m.* reader
légende *f.* legend
léger light (*in weight*); slight
légèrement slightly
légion *f.* legion, countless number; **Légion d'Honneur** *f.* Legion of Honor (*founded by Napoleon I in 1802*)

- législatif** legislative
léguer to bequeath
lendemain *m.* day after, next day
Lens [s sounded] *city in the north of France not far from the Belgian frontier*
lent slow
lenticulaire lenticular, lens-shaped
lentille *f.* lens
Lenz, Henry Frederick (1804-1865) *Russian physicist, famous for his work in electromagnetism*
Lepère, Jean-Baptiste (1761-1844) *French architect*
Lesseps [ps sounded], **Ferdinand de** (1805-1894) *French diplomat and engineer*
lessive *f.* lye
lest [st sounded] *m.* ballast; — **liquide** water ballast
lettre *f.* letter; — **s** letters, literature; *see* **Lucilius**
levé *m.* survey, surveying; — **de plans** surveying
levée *f.* raising, lift
lever to raise, survey, plot, draw up; — **les plans** to survey
levier *m.* lever
levure *f.* yeast
lexicographe *m.* lexicographer
liaison *f.* connection, relation, union
liant elastic
libéralité *f.* liberality, generosity
libérer to liberate
liberté *f.* liberty; *see* **état**, **mise**
libre free, open; clear (of a track); inside (of dimensions)
librement freely
liège *m.* cork
lien *m.* bond, tie, relation, connection
lier to connect, join
lieu *m.* place; reason; locus; — **x** locality; **au — de** instead of; **en premier —**, in the first place; — **géométrique** locus; *see* **avoir**, **donner**, **tenir**
lieue *f.* league (four to six kilometers)
lieutenant *m.* lieutenant
ligne *f.* line; — **conductrice** power line; — **de contact** contact conductor; — **de faite** crest line; **dans ses grandes —s** in its broad outlines; *see* **sud**
lignée *f.* line, lineage
limaille *f.* filings
limitateur de charge *m.* charge-limiting device
limite *f.* limit; *see* **turbine**
limiter to limit
limonite *f.* limonite
limpidité *f.* limpidness, clearness
Linant-Bey (Maurice Adolphe Linant de Bellefonds) (1800-1883) *French engineer who spent most of his life in the service of the viceroys of Egypt*
linge *m.* linen, clothes
lingot *m.* ingot
linguiste [u sounded] *m.* linguist
liquéfier to liquefy

- liquide** *m. & adj.* liquid; *see*
lest, veine
lire to read
lisière *f.* edge, selvage
liste *f.* list
lit *m.* bed; — **du vent** wind's
 eye, teeth of the wind
litre *m.* liter
littéraire literary
littérateur *m.* man of letters
littérature *f.* literature
littoral *m.* coast
Litré, Émile (1801-1881) fa-
 mous French philologist and
 lexicographer
livraison *f.* delivery
livrer to abandon, hand over;
 deliver, furnish; **se** — **à** give
 oneself up to, devote oneself
 to
local *m.* quarters, room; *adj.*
 local; *see* **chemin**
localiser to locate
localité *f.* locality, place
locomotive *f.* locomotive
logement *m.* hole, seat; ac-
 commodation; offset
loger to place, set, lodge
loi *f.* law
loin far; — **de** far from; **de**
 —, at a distance
lointain remote, distant
Loire *f.* longest river in France,
 rising in the center of France,
 flowing north and west into
 the Atlantic
loisir *m.* leisure
Londres London
long long; **le** — **de** along; **à**
 la — **ue** in the long run
longer to line
longeron *m.* stringer, sill, beam
longitude *f.* longitude
longitudinal longitudinal,
 lengthwise
longtemps long, a long time;
 see **ici**
longueur *f.* length, distance;
 — **d'onde** wave length
lors then; — **de** at the time of;
 depuis —, since that time;
 dès —, therefore, hence;
 since then
lorsque when
Lot *m.* river in the southwest of
 France, emptying into the
 river Garonne
Lot-et-Garonne department in
 the southwest of France named
 for the two rivers which flow
 through it
louer to hire, rent
Louis-Blanc name of a street
 and subway station in Paris
Louis XIV king of France from
 1643 to 1715, one of the most
 glorious periods of French
 intellectual history
loupe *f.* magnifying glass
lourd heavy, burdensome
Louvre *m.* old royal residence,
 now converted into a museum
 containing the richest art col-
 lection in the world; begun
 in 1204 in the reign of
 Philippe Auguste and not
 completed until the past cen-
 tury, in the time of Na-
 poleon III
lubrifiant *m.* lubricant; *adj.*
 lubricating
lubrifier to lubricate
Lucilius: **lettres à** —, collec-
 tion of 124 philosophic letters

written by Seneca, the basis of which is stoicism
lumière *f.* light; port; *pl.* knowledge
Lumière, Auguste (1862—) and **Louis** (1864—) *brothers, inventors of color photography and other photographic devices*
lumineux luminous, of light; *see faisceau*
lunaire lunar
lune *f.* moon
lutte *f.* struggle
lutter to fight, struggle
lycée *m.* high school (*administered by the government*); — **Henri IV** school in Paris famous for the great men it has counted among its students
Lyon Lyons (*third largest city of France*)

M

m. = mètre
macadam [*final m not nasal*] *m.* macadam
machinalement mechanically
machine *f.* machine, machinery; engine; — **à écrire** typewriter; — **marine** marine engine; — **soufflante** blast engine, blowing engine; — **à vapeur** steam engine
machine-outil *f.* machine tool
mâchoire *f.* jaw
maçonner to line with masonry
maçonnerie *f.* masonry, stonework, brickwork

Madagascar island in the Indian Ocean off the coast of Africa, belonging to France
magasin *m.* warehouse; **en** —, in stock
magnésie *f.* magnesia
magnésien magnesian
magnétique magnetic; *see feuillet, spectre, oxyde*
magnétiser to magnetize
magnétisme *m.* magnetism
magnéto *m.* magneto
magnificence *f.* magnificence, splendor
magnifique magnificent, splendid
maigre lean, close-burning, hard
maille *f.* mesh
Maillot *see porte*
main *f.* hand; **à la** —, by hand; **de** — **de maître** in a masterly manner; **la haute** —, the greatest authority
maintenant now
maintenir to maintain, preserve, keep
maintien *m.* keeping, maintenance, upkeep
maison *f.* house, home; firm; — **d'édition cinématographique** moving picture distributing agency; — **d'habitation** dwelling
maître *m.* master, teacher; *see couple, main*
maîtresse *f.* mistress
majeur major, most, greater
majuscule capital, large (*of letters of the alphabet*)
mal badly, poorly; *see pas*
maladie *f.* disease

- malaxage** *m.* malaxing, malaxation
- malgré** in spite of
- malheur** *m.* misfortune
- malheureusement** unfortunately
- malléable** malleable
- malodorant** having a bad odor
- Malte** *f.* Malta (*island in the Mediterranean between Sicily and the African coast*)
- mamelon** *m.* hummock, rounded hill
- Manche** *f.* English Channel
- manche** *f.* sleeve; — **à air** ventilating pipe
- manchon** *m.* sleeve, collar; — **élastique** flexible coupling
- mander** to send for, summon
- maneton** *m.* crank pin
- manette** *f.* handle, lever
- manganèse** *m.* manganese
- manier** to handle, manipulate
- manière** *f.* manner, way; **de** — **à** so as to; **de** — **que** or **de** — **à ce que** so that; **de** . . . —, in . . . way, manner
- manifestation** *f.* manifestation
- manifeste** manifest, obvious
- manifeste** to manifest, give evidence of
- manipulateur** *m.* key
- manipulation** *f.* manipulation, handling
- manipuler** to handle
- manivelle** *f.* crank; *see* **tourillon**
- manœuvre** *f.* maneuver, control, operating, handling; evolution (*of a ship*); *see* **organe**, **table**, **tringle**
- manœuvrer** to operate
- manque** *m.* lack
- manquer** to fail, be lacking
- manuel** *m.* manual
- manutention** *f.* handling
- marais** *m.* marsh, swamp; *see* **gaz**
- marbre** *m.* marble
- marchand** *m.* merchant, dealer; — **de gros** wholesale dealer
- marchandise** *f.* goods, freight
- marche** *f.* running, course, progress, procedure; **en** —, while running; *see* **mettre**, **mise**, **ordre**, **remettre**
- marcher** to go, run, work, progress
- Marconi, Guglielmo** (1875-1937) *Italian, inventor of wireless telegraphy*
- maréchalerie** *f.* blacksmith work
- marée** *f.* tide; *see* **moulin**
- marémo-teur, -trice** tide-driven; *see* **usine**
- marin** *m.* sailor, seaman; *adj.* marine; *see* **machine**
- marine** *f.* navy, marine
- maritime** maritime, sea
- marne** *f.* marl
- marneux** marly, marlaceous
- marque** *f.* make, brand
- marqué** marked
- marquer** to mark
- mars** *m.* March
- Marseille** **Marseilles** (*important port of France on the Mediterranean*)
- marteau** *m.* hammer
- marteau-pilon** *m.* drop hammer
- marteler** to hammer
- Martin - Siemens** [simēs]:

- Pierre Martin** (1824-1915) *French engineer*; **Friedrich Siemens** (1826-1904) *German engineer*; they developed the open-hearth steel process about 1867; see **four**
- masse** *f.* mass, weight
- massif** *m.* substructure; *adj.* massive; **Massif Central** Central Plateau (*highland of southern central France*)
- mat** dull, dead, not bright
- mât** *m.* mast, pole; — **d'amarage** mooring mast
- matelas** *m.* mattress, layer
- matérialiser** to materialize
- matériaux** *m. pl.* material, materials
- matériel** *m.* equipment, stock; material; *adj.* material, of matter
- mathématique** *adj.* mathematical; *f. pl.* mathematics
- matière** *f.* matter, substance, material; subject; — **première** raw material; — **brute** raw material; see **table**
- matin** *m.* morning
- maturation** *f.* maturation
- mauvais** bad; see **vouloir**
- maxima** *f. & pl. of maximum*
- maximum** [-ɔm] *m. & adj.* maximum
- Mazarin** see **collège**
- mazout** *m.* mazout
- mécanicien** *m.* machinist
- mécanique** *f.* mechanics; *adj.* mechanical
- mécanisme** *m.* mechanism
- mèche** *f.* match (*for fumigation*); wick
- médaille** *f.* medal; — **Franklin** Franklin Medal (*awarded by Franklin Institute in recognition of great achievement in physical science and technology*); — **d'or du Prince Albert** the Albert Medal, (*awarded to civilians by Great Britain for heroic services on land or sea*)
- médecin** *m.* physician
- médecine** *f.* medicine
- médian** median, central; see **arête**
- médical** medical; see **corps**
- médiocre** mediocre
- méditation** *f.* meditation, thought
- méditer** to meditate, think
- Méditerranée** *f.* Mediterranean
- Méhémet-Ali** (1769-1849) *viceroys of Egypt*
- meilleur** better, best
- mélange** *m.* mixture
- mélanger** (se) to mix
- mélasse** *f.* molasses
- mêler** to mix
- mélodieux** melodious
- membrane** *f.* membrane; — **vibrante** diaphragm
- membre** *m.* member
- même** same, very, self; *adv.* even; **de** —, likewise; **de** — **que** just as, in the same manner as; **par là** —, **par cela** —, for that very reason; see **être**, **revenir**, **tout**, **voire**
- mémoire** *m.* memoir, dissertation; *f.* memory
- mémorable** memorable
- ménager** to make, contrive;

- cut; obtain; *adj.* household
- ménagère** *f.* housewife
- mener** to lead, carry on; draw (*a line*); — **à bonne fin** go through with, carry out; — **à bien** carry out
- mentionner** to mention
- menu** small, fine, minute
- Menzaleh** [mē-] Menzala (*lake on the isthmus of Suez*)
- mer** *f.* sea, ocean, tide; **sur** —, at sea; — **Rouge** Red Sea; *see* **armée, bord**
- merci** *f.* mercy
- mercure** *m.* mercury; *see* **convertisseur**
- mère** *f.* mother; source
- méridien** *m.* meridian
- mérite** *m.* merit
- mériter** to deserve
- merveille** *f.* wonder
- merveilleux** marvelous, wonderful
- mésothorium** [-i-əm] *m.* mesothorium
- mesurable** measurable
- mesure** *f.* measurement, measure, measuring; **à — que** in proportion as, according as; **dans la — du possible** as much as possible; *see* **appareil, fur**
- mesurer** to measure
- métal** *m.* metal
- métallique** metallic, metal; *see* **fil, toile**
- métalliquement** metallicity, through metal
- métalloïde** *m. & adj.* metalloid, non-metal
- métallurgie** *f.* metallurgy
- métallurgique** metallurgic
- métaphysique** metaphysical
- méthane** *m.* methane
- méthode** *f.* method
- méthodiquement** methodically
- métier** *m.* profession, trade
- mètre** *m.* meter
- métrophotographique** photogrammetric
- métropolitain** *m. & adj.* Paris subway
- mets** *m.* food
- metteur en scène** *m.* director
- mettre** to place, put; take (*of length of time*); **se — à** begin; — **à l'abri de** protect from; — **en action** start; — **en balance** compare; — **en commande** order; — **à l'épreuve** put to the test, make a trial of; — **en honneur** bring into repute; — **en marche** to start; — **sur pied** set up, build; — **en place** set up; — **au point** set up, finish, perfect; — **à profit** take advantage of; — **en réserve** keep, store away; — **en route** start
- Metz** [mes] *large city of Lorraine*
- meuble** *m.* piece of furniture; device
- meule** *f.* millstone, grindstone; polishing wheel; pile, heap; *see* **tourner, travailler**
- meulier** *adj.* for grinding; *see* **pierre**
- meulière** *f.* millstone-grit
- meurtrier** murderous
- Meydenbauer, Albert** (1834-

- 1921) *German engineer and architect*
mica *m.* mica
micacé micaceous
micaschiste [sch=ʃ] *m.* mica-schist
microbe *m.* microbe
microbien microbial
microorganisme *m.* microorganism
microphone *m.* microphone;
 — à liquides liquid microphone
microphonique *adj.* microphone
microscope *m.* microscope
microscopique microscopic
mi-distance: à —, half way
mieux better; au —, in the best possible way; bien —, even more, rather; au — de in the interest of; *see* aise
milieu *m.* middle, middle point; environment, medium; au — de in the midst of
militaire military
militer to contend
mille thousand, a thousand;
m. mile
milliampèremètre *m.* milliammeter
milliard *m.* billion (1,000 millions)
millier *m.* thousand
milligramme *m.* milligram
millimètre *m.* millimeter
million *m.* million
mince thin, insignificant
mine *f.* mine
mineral *m.* ore; mineral
minéral *m.* & *adj.* mineral
minéralogie *f.* mineralogy
minéralogique mineralogical
minima *f.* of minimum
minime extremely small, unimportant
minimum [-ɔm] *m.* & *adj.* minimum
ministre *m.* minister; premier —, prime minister
minium [-iɔm] *m.* minium, red lead
minuscule small, tiny
minute *f.* minute; à la —, per minute, a minute
minutieux minute
miracle *m.* miracle
miroir *m.* mirror
mise *f.* putting; — en liberté liberation; — en marche starting; — en œuvre putting into play; — au point completion, carrying out, perfection; — en pratique putting into use; — en service putting into service
misère *f.* misery
mission *f.* mission
mixte mixed
mm. = millimètre
Mn = manganèse
mobile movable, variable, moving; pivoting; *see* directrice
mobilisation *f.* mobilization
mobilité *f.* mobility
mode *m.* method, manner, means
modèle *m.* model, type
modelé *m.* representation, hill shading
modérer to moderate, diminish
moderne modern

modeste modest, humble
modification *f.* modification
modifier to modify
modula-teur, -trice modulating
modulation *f.* modulation
moduler to modulate
Mohammed-Saïd [*final d sounded*] (1822-1863) *viceroy of Egypt, son of Mehemet-Ali*
moindre less, smaller; **le** —, least, slightest
moins less, least; **moins** —, at least; **tout au** —, at the very least; **de** — **en** —, less and less, gradually less; **du** —, nevertheless, still, at least
mois *m.* month
moitié *f.* half; **de** —, by half
moléculaire molecular
molécule *f.* molecule
moment *m.* moment, time; **par** —s at times; **du** — **que** since
momentanément momentarily
monde *m.* world; **tout le** —, everybody; *see* **envoyer, gens**
mondial world-wide, world
monochrome [ch = k] single-colored
monoclinique monoclinic
monocylindrique *adj.* one-cylinder
monophasé single-phase
monoplan *m. & adj.* monoplane
montage *m.* mounting, assembling
montagne *f.* mountain
montagneux mountainous
montant *m.* strut

montée *f.* rise
monter to go up; carry up, raise; mount, pilot; assemble; — **sa garde** be on guard
montre *f.* watch
montrer to show, point out
Mont-Saint-Michel: **baie du** —, bay on the northern coast of France between the departments of La Manche and Ille-et-Vilaine
monument *m.* monument
morceau *m.* piece, part, fragment
morphologie *f.* morphology
Morse, Samuel (1791-1872) *American, inventor of the telegraph; Morse the code or alphabet devised by Morse; see réception, signal*
mort *f.* death
mortier *m.* mortar, mixture
Mossoul *Mosul (city in Mesopotamia on the river Tigris)*
mot *m.* word, saying
moteur *m.* motor, engine; — **avec arbre à cames en tête** valve-in-the-head motor with cam shaft mounted on the head; — **asynchrone** asynchronous motor (*motor whose speed is not synchronous with that of its driving generator, although both machines have the same number of poles*); — **à culbuteur** valve-in-the-head motor; — **à explosion(s)** internal combustion engine; — **d'induction** induction motor; — **à ressort** spring motor; — **à**

soupapes spring-valve engine;
 — **synchrone** synchronous
 motor (*motor which operates properly only when brought into step with the current which drives it*); *adj.* —**teur**,
 —**trice** motive, driving; *see*
arbre, **avion**, **Diesel**, **fonctionner**, **Gramme**, **groupe**,
nacelle, **semi-Diesel**, **travail**
moteur-générateur *m. & adj.*
 motor-generator
motif *m.* motive, reason
motocycle *m.* *very light automobile usually in the form of a tricycle*
motocyclette *f.* motorcycle
moto-propulseur *m.* motor and propeller; *see* **groupe**
motrice *f.* motor
mou, **mol**, **molle** soft; *see* **soufre**
Mougel-Bey (†1891) *French civil engineer*
mouillé wet
mouiller to moisten, soak
moulage *m.* molding, casting
moule *m.* mold
mouler to mold, shape, cast
moulin *m.* mill; — **à eau** water mill; — **à vent** windmill; — **à marée** tide mill
mourir to die
mouton *m.* sheep; *see* **saut**
mouvement *m.* movement, motion; — **de va-et-vient** reciprocating motion; — **de terrain** undulation, variation
mouvoir (**se**) to move
moyen *m.* way, means, method; **au** — **de** by means of; *adj.* average, mean, medium

moyenâgeux medieval, of the middle ages
moyenne *f.* mean, average; **en** —, on an average
moyeu *m.* nave, hub
Mulhouse *city in the southern part of Alsace*
multiple *m.* multiple; *adj.* multiple, manifold
multiplication *f.* multiplication
multiplier (**se**) to multiply
multitude *f.* multitude
municipal municipal, city
munir to furnish, supply, provide
mur *m.* wall; — **de refend** partition wall
mûr ripe, mature
mûrir to ripen, develop
muscle *m.* muscle
musculaire muscular
musée *m.* museum
musique *f.* music
mutuellement mutually, each other
myriade *f.* myriad, immense number
mystère *m.* mystery
mystérieux mysterious

N

Na = sodium
nacelle *f.* car, gondola; — **motrice** power car
nacré nacreous, like mother-of-pearl
naissance *f.* birth; rise; springing line, springer; *see* **prendre**
naître to be born, arise
naphtaline *f.* naphthalene
naphténique *adj.* naphthene

nappe *f.* sheet; — **souterraine**
subsoil water

nation *f.* nation

nationalité *f.* nationality

naturaliste *m.* naturalist

nature *f.* nature, kind

naturel natural

naturellement naturally, of
course

navigateur *m.* navigator

navigation *f.* navigation, navi-
gating; *see cabine*

navire *m.* vessel, ocean-going
ship, liner

néanmoins nevertheless

nécessaire necessary

nécessité *f.* necessity

nécessiter to necessitate, re-
quire

négatif *m. & adj.* negative

négation *f.* negation

négligeable negligible

négligence *f.* negligence

négliger to neglect

neige *f.* snow

nerveux strong, sinewy

nervure *f.* rib

net neat; clear, distinct,
sharply defined; net

nettement clearly, distinctly

netteté *f.* clearness, clarity

neutralité *f.* neutrality

neutre neutral

Newton, Isaac (1642-1727)
*English scientist and dis-
coverer of the basic laws of
gravitation*

nez *m.* nose

niable deniable

nickel *m.* nickel

nickelage *m.* nickel plating

Niger [*r sounded*] large river

*and region of French West
Africa*

Ninive Nineveh (*capital of
ancient Assyria on the river
Tigris*)

nitre *m.* niter

nitrière *f.* niter bed, saltpeter
bed

niveau *m.* level; — **à bulle**
spirit level, water level; **au**
— **de** on a level with; *see*
courbe, graissage, traversée

noir black, dark; — **animal**
animal charcoal, bone black;
see brun, tendre

noirâtre blackish

nom *m.* name, noun

nombre *m.* number; — **de a**
number of, many

nombreux numerous; **peu** —,
few in number

nomenclature *f.* nomenclature

nommer to call, name, appoint

non no, not, non, un-, in-; —
plus no longer, no more;
either, neither

non-existence *f.* non-existence

nord *m.* north; **le Nord** *depart-
ment of France on the Belgian
frontier; Nord or chemin de
fer du Nord* railroad from
Paris to Belgium and Calais
(for England)

Nord-Sud or chemin de fer
—, subway in Paris running
in the general direction of
north and south

normal normal, regular, stand-
ard; *see voie*

Norvège *f.* Norway

notable considerable

notamment especially

note *f.* note
noter to note, notice, observe
notion *f.* notion, idea, conception
notoirement notoriously
notoriété *f.* fame
nouve-au, -l, -lle new; à —, de —, again
nouveauté *f.* novelty
novateur *m.* innovator
noyau *m.* core
noyé immersed, under water
nu bare, exposed, naked; *see* feu
nuance *f.* shade
nuire (à) to harm, be harmful (to)
nuisible harmful
nuit *f.* night
nul nil, none
nullement not at all, by no means
numération *f.* numbering, counting
numérique numerical
numéro *m.* number; — d'ordre order number

O

O = oxygène
obéir to yield
objectif *m.* objective, lens
objection *f.* objection
objet *m.* object, article, thing; purpose
obligation *f.* obligation
obligé necessary
obliger to oblige, compel
oblique *f.* oblique line; *adj.* oblique
obscur obscure; dark (*of colors*)

obscurité *f.* darkness
observateur *m.* observer
observation *f.* observation
observatoire *m.* observatory; — de Paris *observatory*, founded in 1667 by Louis XIV for the observation and study of meteorological and astronomical phenomena
observer to observe
obstacle *m.* obstacle
obstruer to close, obstruct
obtenir to get, obtain
obtention *f.* obtaining
obturateur *m.* cut-off, valve
obturation *f.* closing, shutting-off
obturer to close, shut
obvier (à) to obviate, avoid
occasion *f.* occasion, opportunity
occasionner to cause
occident *m.* west
Occidental Occidental; *see* Afrique
occulte occult
occupation *f.* occupation, pursuit
occuper to employ, occupy; s'— de to be occupied with, pay attention to
océan *m.* ocean
ocre *f.* ocher
octaèdre *m.* octahedron
odeur *f.* odor; à son —, by its odor
œil *m.* eye; *see* coup
Ørsted, J. C. (1777-1851) Danish physicist, discoverer of electromagnetism
œuvre *f.* work, piece of work; *see* mise; *m.* structure; dans

- , inside measurement, in the clear
offensif offensive
officiel official
officier *m.* officer
offrir to offer
OH *see* **groupement**
oidium [-i-ɔm] *m.* oidium, vine-mildew (*a destructive fungus growing on grape vines*)
oligiste oligistic; *see* **fer**
olive *f.* olive
oméga *m.* omega
omettre to omit
omnibus [s *sounded*] *adj.* local, accommodation
omniscient omniscient, all-knowing
omnivore omnivorous
on *indef. pron.* one, people,
onctueux oily [they, you
onde *f.* wave; —**s entretenues**
undamped *or* continuous
waves, C.W.; —**s amorties**
damped waves; *see* **longueur**
onéreux burdensome, difficult
ongle *m.* finger-nail
opacité *f.* opacity
opaline *f.* opal-glass
Opéra *Paris subway station at the place de l'Opéra*
opérateur *m.* operator
opération *f.* operation
opercule *m.* cover, cap
opérer to operate, work, effect, carry out, accomplish; **s'—**, take place
opposé opposite, opposed
opposer (à) to compare (with), put (against), oppose; **s'—** à oppose
opposition *f.* opposition
optimiste optimistic
optique optical
or *m.* gold; *see* **poids**
or now
orbital orbital
orbite *f.* orbit
orchestration [ch = k] *f.* orchestration
ordinaire ordinary; **d'—**, ordinarily, usually
ordinairement ordinarily, usually
ordonner to order, regulate
ordre *m.* order, nature, size; — **de marche** running order
oreille *f.* ear; *see* **réception**
organe *m.* part, organ; — **de manœuvre** control device; — **répétiteur** repeater
organique organic
organisation *f.* organization
organisme *m.* organism
orient *m.* east, Orient
oriental eastern
orientation *f.* orientation
orienter to direct, guide, turn; **s'—**, turn
orifice *m.* hole, opening, port
origine *f.* origin, beginning
orthorhombique orthorhombic, trimetric
orthose *m.* orthoclase
oscillation [ll *not liquid*] *f.* oscillation
osciller [ll *not liquid*] to oscillate
oscillogramme [ll *not liquid*] *m.* oscillogram
oscillographe [ll *not liquid*] *m.* oscillograph
oser to dare
Osiris *see* **prix**

ossements *m. pl.* bones
 où where, when; in which;
 d'—, whence, from which;
 see importer
 Ouallen *small oasis of the
 Algerian Sahara*
 oublier to forget
 outil *m.* tool
 outillage *m.* tool outfit
 outre besides, in addition to;
 en —, furthermore
 outremer *m.* ultramarine
 ouverture *f.* opening, aperture,
 span; à large —, wide-
 necked, wide-mouthed
 ouvrage *m.* work, piece of
 work; construction, struc-
 ture
 ouvrier *m.* workman
 ouvrir to open
 oxacide *m.* oxacid, oxygen acid
 oxydabilité *f.* oxidizability
 oxydant oxidizing [ing
 oxydation *f.* oxidation, oxidiz-
 oxyde *m.* oxide; — de carbone
 carbon monoxide; — magné-
 tique magnetite
 oxyder (s') to oxidize
 oxygène *m.* oxygen
 oxygéné oxygenated; see eau

P

P = phosphore
 page *f.* page
 paillette *f.* spangle, shining
 particle; scale, forge scale
 pain *m.* cake, block
 paire *f.* pair
 paisiblement peacefully, calmly
 paix *f.* peace
 Palais-Royal *Paris subway sta-*

*tion on the rue de Rivoli at
 the Palais Royal*
 palan *m.* tackle
 pale *f.* blade
 pâle pale
 paléontologie *f.* paleontology
 palette *f.* paddle
 palier *m.* level stretch; landing
 (of stairs)
 pallophotophone *m.* phonofilm
 Paluden *small fishing village
 and port of Brittany*
 panchromatique [ch = k] pan-
 chromatic
 panne *f.* break-down
 panneau *m.* panel, board
 pantalon *m.* trousers; — d'eau
 emergency water ballast bag
 (built in two sections and
 closely resembling a pair of
 trousers suspended at the
 waist, each leg being full of
 water and the valve being at
 the lower end of each leg)
 Panthéon *m.* building in Paris
 containing the tombs of many
 distinguished Frenchmen;
 panthéon de l'humanité uni-
 versal hall of fame
 pantographe *m.* pantograph
 papier *m.* paper
 Papin, Denis (1647-1714) first
 to discover the elastic power
 of steam
 paquebot *m.* steamship
 par by, through, per; see trop
 parachever to complete in full
 paradoxal paradoxical
 paraffine *f.* paraffin
 paraffinique *adj.* paraffin
 paragraphe *m.* paragraph
 paraître to appear, seem

- parallaxe** *f.* parallax
parallèle *f.* parallel line; *adj.* parallel; (*of a turbine*) parallel-flow, downward-flow; *see turbine*
parallèlement parallel, in a parallel manner
parallélogramme *m.* parallelogram
paralyser to paralyze, annul
parapet *m.* balustrade, parapet
parasitaire *see effet*
parcelle *f.* particle
parce que because
parcourir to go through, traverse
parcours *m.* course, journey
par-dessus above, over
pare-brise *m. sg. & pl.* windshield (*front and side*)
parement *m.* facing
parfait perfect
parfois sometimes
Parisien *m. & adj.* Parisian
Paris - Lyon - Méditerranée railroad running from Paris to Marseilles
parlement *m.* parliament
parler to speak, talk
parmi among
paroi *f.* wall, side; (*of a boiler*) shell
parole *f.* word, speech
parquet *m.* floor, hardwood floor, inlaid floor
part *f.* part, share, side; **d'une** —, on the one hand, on one side; **de l'autre** —, on the other hand; **d'autre** —, furthermore, besides; **de — et d'autre** on both sides; **à —**, apart, separately; **de la —** de on the part of; **quelque —**, somewhere; **pour une grande —**, to a great extent; *see faire*
partage *m.* division, distribution
partager to divide, share
parti *m.* advantage; — **pris** prejudice; *see tirer*
particulaire elementary, atomic, of particles
particularité *f.* peculiarity
particule *f.* particle
particulier particular, special, individual, peculiar
particulièrement particularly
partie *f.* part; **en grande —**, to a great extent; **en majeure —**, for the most part; *see faire*
partiel partial
partir to start, set out; **à — de** beginning with
partisan *m.* partisan
partout everywhere
parvenir to succeed; reach, arrive
pas *m.* step; pitch; *adv.* not; — **mal** quite a lot
Pas-de-Calais department of France at the northeast end of the English Channel
passage *m.* passage, passing, transit; *see point*
passager *m.* passenger
passé *m.* past; *adj.* past, last
passer to pass, pass through; spend; **se —**, happen; **se — de** do without; — **en revue** review; *see proverbe*
passerelle *f.* footbridge, bridge
passionner (*se*) to become extremely fond (**pour** of)

Pasteur, Louis (1822-1895)
*famous French bacteriological
 chemist; see institut*

pastorien *adj.* of Pasteur

pâte *f.* paste

pâteux pasty, sticky, thick

patin *m.* slide block

patrimoine *m.* patrimony, inheritance

pauvre poor

pavillon *m.* mouthpiece; building, wing (*of a building*)

pays *m.* land, country

peau *f.* skin

pédale *f.* pedal

peine *f.* trouble, difficulty; à —, scarcely, hardly

peinture *f.* paint, painting

pellicule *f.* film

Pelton: roue —, Pelton wheel

Péluse Pelusium (*ancient city of lower Egypt; its locality is now known as Tina*);
golfe de —, Gulf of Pelusium (*Mediterranean gulf on the northern coast of Africa, east of the delta of the Nile*)

penchant *m.* inclination, liking
pendant during, for; — que while

pendule *m.* pendulum, governor; — à boules ball governor; — de Watt Watt's governor

pénétrant penetrating

pénétration *f.* penetration, entering

pénétrer to penetrate, reach; se — de to learn, impress upon one's mind

pénible painful, hard

péniche *f.* barge

penser to think

penseur *m.* thinker

Pensylvanie [pē-] *f.* Pennsylvania

penta- [pēta] *chemical prefix*
 penta-

pentachlorure [pētakloryr] *m.*
 pentachloride

pente *f.* slope, down grade

per- *chemical prefix* per-

percer to pierce, cut (*holes*)

percevoir to perceive

perdre to lose; — de vue lose sight of

père *m.* father

perfection *f.* perfection

perfectionnement *m.* improvement, perfection

perfectionner to perfect, improve

perforer to perforate

performance *f.* performance

péril *m.* peril, danger

période *f.* period, cycle

périodique periodic

périphérie *f.* periphery

périphérique peripheral, on the circumference

permanence *f.* permanence; en —, permanently

permanent permanent, constant; *see régime*

permettre to permit, allow

peroxyde *m.* peroxide; — de plomb lead dioxide

perpendiculaire *f.* & *adj.* perpendicular

perpendiculairement perpendicular, perpendicularly

perpétuer to perpetuate

perpétuité *f.* perpetuity; en —, for all time

persévérance *f.* perseverance
personne *f.* person; *pl.* people;
pron. nobody

personnel *m.* personnel, staff;
 — **conducteur** crew; *adj.*
 personal

perspectif perspective

perspective *f.* perspective

perspicacité *f.* perspicacity

persulfate *m.* persulfate

persulfurique persulfuric

perte *f.* loss; **à — de vue** out
 of sight, farther and farther
 away; **en pure —**, as a total
 or dead loss

perturbation *f.* disturbance

pesant heavy, having weight

pesanteur *f.* gravity

pesée *f.* weighing

peser to weigh

pétale *m.* petal

petit small, little; — **à —**,
 little by little; *see* **axe**, in-
 finiment

pétrole *m.* petroleum; — **brut**
 crude oil; — **d'éclairage**,
 — **lampant**, — **ordinaire**
 illuminating oil, kerosene

pétrolifère petroliferous, oil-
 bearing

peu little; — **à —**, little by
 little; **quelque —**, some-
 what, rather; (*before an*
adjective) **un—**, in—, not; *see*
près

Peugeot *a famous French make*
of automobiles and the com-
pany that manufactures them

peuple *m.* people; common
 people

peuplé populated

peut-être perhaps

phase *f.* phase

phénomène *m.* phenomenon

philologue *m.* philologist

philosophe *m.* philosopher

philosophie *f.* philosophy;
highest class in French public
schools

phlogistique *m.* phlogiston (*a*
supposed constituent of mat-
ter; metals were thought to
lose phlogiston when they
passed into oxides)

phosphore *m.* phosphorus

photo-électrique photo-electric

photogrammètrie *f.* photo-
 grammetry

photographie *f.* photography;
 photograph, picture

photographier to photograph

photographique photographic;
see **appareil**, **chambre**

photomécanique photomechan-
 ical

photomicrographique photomi-
 crographic

phototopographie *f.* phototo-
 pography

phototopographique phototopo-
 graphic

phrase *f.* sentence

physicien *m.* physicist

physiologie *f.* physiology

physique *f.* physics; *adj.* physi-
 cal

pic *m.* pick; **à —**, perpendicular

pièce *f.* part, piece; room

pied *m.* foot; *see* **mettre**

piédroit *m.* side wall, pier

pierre *f.* stone; — **d'achoppe-**
ment stumbling-block; —
d'aimant loadstone; — **cal-**
caire limestone; — **à fusil**

- gunflint; — **meulière** mill-stone; — **à plâtre** plaster stone; — **de taille** cut stone, ashlar
- pierreux** stony
- pieu** *m.* pile, post
- piézo-électrique** piezo-electric (*said of a crystal producing electricity because of pressure exerted on it*); *see* **quartz**
- pignon** *m.* gear, pinion
- pile** *f.* pillar, pile, pier; battery
- pilier** *m.* pillar, column
- pilon** *m.* hammer, shingling hammer
- pilonnage** *m.* ramming
- pilotage** *m.* piloting
- pilote** *m.* pilot
- piloter** to pilot
- pince** *f.* clip
- pipette** *f.* pipette, glass tube
- piste** *f.* track, trail
- piston** *m.* piston; *see* **tige**, **traverse**
- pitié** *f.* pity
- pittoresque** picturesque
- pivot** *m.* pivot; bearing
- pivoter** to pivot, turn
- place** *f.* place, seat, position; room; square; **sur** —, on the spot; **la deux** —s light roadster, two passenger automobile; **à quatre** —s four passenger; *see* **étoile**, **mettre**, **prendre**
- placer** to place, put
- plafond** *m.* ceiling; (*of a canal*) bottom
- plage** *f.* beach
- plain-pied**: **de** —, on the same level
- plaisant** pleasing
- plan** *m.* plan, project; plane; *adj.* plane, smooth; *see* **établissement**, **levé**, **lever**
- planche** *f.* plate, cut; board
- plancher** *m.* floor
- planer** to glide; *see* **vol**
- planeur** *m.* glider
- planimétrie** *f.* planimetry
- planimétrique** planimetric
- plante** *f.* plant
- Planté, Gaston** (1834-1889) *French physicist, built the first storage battery*
- plaque** *f.* plate, flat block, slab
- plastique** plastic
- plat** flat, dead
- plateau** *m.* pan, tray, plate, disk; *see* **colonne**, **condensateur**
- plate-forme** *f.* platform
- platelage** *m.* floor (*of a bridge, etc.*)
- platine** *m.* platinum
- plâtre** *m.* plaster; *see* **pierre**
- pléiade** *f.* group of brilliant or famous men
- plein** full, solid; *see* **cintre**, **poutre**, **voie**
- plier** to bend, bow down; **se** —, to yield
- pliotron** *m.* pliotron (*a type of vacuum tube*)
- P.L.M.** = Paris-Lyon-Méditerranée
- plomb** *m.* lead; *see* **grenaille**, **peroxyde**
- plombagine** *f.* graphite
- plonger** to plunge, dip
- pluie** *f.* rain
- plupart** *f.* most, majority
- plus** more, plus; no more; **au** —, at the most; **de** — **en**

- , more and more; *de* —, furthermore; *see non*
- plusieurs* several
- plutôt* rather
- pneu m.* tire; *gros* — (*à basse pression*) balloon tire
- pneumatique m.* tire; *adj.* pneumatic, air
- poche f.* pocket
- poète m.* poet
- poids m.* weight; *à* — *d'or* at an extremely high price
- poignée f.* handle
- poindre* to dawn, appear
- point m.* point, dot; — *d'appui* point of support, shoulder; — *de fusion* melting point; — *d'inflammation* flash point; — *de passage* control point; *au* — *de vue* *de* from the point of view of; *see mettre, mise*
- pointe f.* point, tip, top; — *arrière* the point in the rear, the rear tapering to a point
- pointeau m.* needle (*of a valve*); *see robinet*
- poire f.* (pear-shaped) bulb; — (*soufflante*) *en caoutchouc* rubber bulb
- poison m.* poison
- polaire* polar, pole
- polarité f.* polarity
- pôle m.* pole
- Poleymieux* small village in the department of the Rhône, not far from Lyons
- poli m.* polish
- polir* to polish
- polonium* [—iəm] *m.* polonium
- polygone m.* polygon
- polymorphe* polymorphous
- polytechnique* [ch = k] polytechnic; *Polytechnique school of engineering at Paris, turning out artillery and engineer officers*
- pompe f.* pump; — *à vide* vacuum pump
- pont m.* bridge; *see Alexandre, ingénieur*
- pont-boîte m.* transmission gear case (*mounted as a unit with rear-end*)
- populaire* popular
- populariser* to popularize
- porcelaine f.* porcelain
- porphyre m.* porphyry
- port m.* port, harbor; — *de relâche* port of call; — *de stationnement* home port, dock
- porte f.* gate, door; — *Maillot* entrance to Paris on the northwestern side at the entrance to the Bois de Boulogne; also subway station located at the same place; — *de Saint-Cloud* entrance to Paris at the southwestern end; also subway station located at the same place; — *de Vincennes* entrance to Paris at the southeastern end; also subway station located at the same place
- portée f.* range, reach; ability, power; span; *à* (*la*) — *de* within (the) reach of
- porter* to bring, bear, carry
- porteur m.* carrier, porter; *adj.* —*eur, -euse* supporting; *see câble*
- portion f.* portion

Port-Saïd [*d sounded*] *Egyptian city on the Mediterranean at the entrance of the Suez Canal*

poser to put, place, lay; set up; ask

positif *m. & adj.* positive

position *f.* position

positive *f.* positive; — **sur verre** positive plate

posséder to own, possess

possession *f.* possession

possibilité *f.* possibility

possible possible; *see* **mesure**

poste *m.* position, post, station; set, apparatus; operator's tower; — **de commande**

operator's tower; — **d'équipage** crew's quarters; — **à étincelles** spark station; —

émetteur à lampes vacuum tube transmitting station;

f. mail

pot *m.* pot, crock

potable drinkable, drinking

potasse *f.* potash

potentiel *m.* potential

poterie *f.* pottery

poudingue *m.* pudding-stone

poudre *f.* powder; — **à canon**

gunpowder; **en** —, powdered

poudrerie *f.* powder works

poulie *f.* pulley

pour to, for, in order to; —

que so that, in order that

pourcentage *m.* percentage

pourquoi why

poursuivre to pursue, continue

pourtant however

pourvoir (**de**) to provide

(with)

pourvu que provided that

poussée *f.* pressure; push, thrust

pousser to push, drive, force, carry

poussière *f.* dust; *see* **chambre**

poussoir *m.* valve lifter; pusher

poutrage *m.* framework; — **creux** keel tunnel

poutre *f.* girder, beam; — **à âme pleine** solid girder; — **à âme jumelée** twin girder;

— **en treillis** lattice girder;

— **de rive** shore girder

pouvoir can, be able; **il se peut** it may be; **il se pourrait** it might be; *n. m.*

power

praticable practicable

praticien *m.* practitioner

pratique *f.* practice, use; *adj.* practical; *see* **mise**

pratiquement practically, in practice

pratiquer make, contrive; cut; — **de** to use

préalable previous

précaution *f.* precaution

précédemment before, previously

précédent preceding

précéder to precede

précieux valuable

précipité *m.* precipitate

précipiter to precipitate; **se** —, rush

précis precise, exact, definite

précisément precisely, just

préciser to define, determine exactly

précision *f.* precision, exactness; —**s** data

prédire to predict

- prédominance** *f.* predominance
prédominer to predominate
préexister (à) to preexist, exist before
préférable preferable
préférence *f.* preference
préférer to prefer
préfixe *m.* prefix
prélever (à) to draw (out), take (from)
premier first, former, early; **en** —, first, directly; — **en** date first in the order of time; *see* **matière**, **ministre**
prendre to take, catch, take on, assume, make; — **appui** rest; — **feu** catch fire, ignite; — **naissance** arise, take rise; — **place** fit; — **en** **recette** credit on account; — à take from
préoccupation *f.* preoccupation, worry
préoccuper (se) to bother, be greatly occupied
préparateur *m.* preparer, manufacturer
préparation *f.* preparation
préparatoire preparatory
préparer to prepare
prépondérant preponderant, overpowering
préposer (à) to place, set (over), put in charge (of)
près near; — **de** near, nearly; **de** —, closely; **à** **peu** —, almost, practically; **à** ... —, within, except for
présage *m.* foreboding
prescrire to prescribe
présence *f.* presence; **en** — **de** in the presence of
présent present; **à** —, at present
présentation *f.* presentation; appearance
présenter to present, offer; **se** —, appear
préserver to keep
président *m.* president
présider to preside
presque almost
presse *f.* press
presser to press, squeeze
pression *f.* pressure, head; *see* **graissage**, **pneu**
prêt ready
prétendre to claim, lay claim
prétendu supposed, so-called
prêter to lend, lay itself open to
preuve *f.* proof
prévaloir to prevail
prévoir to provide; anticipate
primaire primary
prime prime
primitif primitive, original
prince *m.* prince
principal principal, chief, main
principalement chiefly
principe *m.* principle; **en** —, as a principle, as a rule
prise *f.* taking, (*of concrete*) setting; — **de** **courant** current collection; — **directe** direct transmission; — **d'eau** forebay, inlet; — **de** **vues** picture-taking; **aux** — **s** **avec** struggling with; **en** —, in gear, geared; *see* **appareil**, **venir**
prismatique prismatic
prison *f.* prison
privé private
priver to deprive

privilegié privileged

prix *m.* prize; price, cost; —
de revient net cost; —
Kastner Boursault *prize*
founded by the widow of
Jean-Georges Kastner (1810-
1867), a composer of music,
in his honor as well as in
the honor of their son, Georges-
Frédéric - Eugène Kastner
(1852-1882), a physicist, and
to the memory of the poet
Edme Boursault (1638-
1701); granted every year
through one of three Acad-
mies of the Institut; through
the Academy of Sciences for
the best work on the applica-
tion of electricity to art, in-
dustry or commerce; —
Osiris (**Daniel Illfa**, 1828-
 1907) *prize granted every*
three years through the Insti-
tut for work representing the
greatest contribution to hu-
man progress; — Wilde
(Henry) *prize granted every*
year through the Institut for
outstanding scientific dis-
coveries

probité *f.* integrity, honesty

problème *m.* problem

procédé *m.* process, method

procéder (**à**) to proceed (to),
 go about, go ahead (with)

processus [*s sounded*] *m.* proc-
 ess

prochain close, near; soon

proche near; **de — en —**, from
 one part to another, gradu-
 ally; *see* **gagner**

procurer to procure, provide

prodigieux prodigious

prodiguer to lavish, waste

producteur *m.* producer; *adj.*
-teur, -trice producing

productif productive

production *f.* production, out-
 put, yield

produire to produce; **se —**,
 take place

produit *m.* proceeds, product

profanation *f.* profanation

professer to lecture, be a pro-
 fessor; — **un cours** give a
 course

professeur *m.* professor

profil [*l sounded*] *m.* profile,
 section, cross-section; (*of an*
airplane) fair

profit *m.* profit; *see* **mettre**

profiter to profit, derive profit,
 take advantage

profond profound, deep; **peu**
 —, slight

profondément deeply

profondeur *f.* depth; *see* **gou-**
vernail

programme *m.* program

progrès *m.* progress

progresser to progress

progressif progressive

progression *f.* progression

progressivement progressively,
 gradually

projecteur *m.* headlight

projectile *m.* projectile

projection *f.* projection, pro-
 jecting; splashing

projet *m.* project, plan

projeter to throw, project

prolongé prolonged, protracted

prolongement *m.* prolongation,
 extension

prolonger to prolong, extend;

se —, extend, continue

promenade *f.* drive, riding for pleasure

promptement quickly, soon

prononcer to pronounce, utter, speak

propagande *f.* propaganda; advertisement

propagation *f.* propagation

propager (se) to spread

proportion *f.* proportion

proportionnel proportional

proportionner to proportion

propos *m.* remark; **à — de** about, concerning; **à ce —**, in this connection

proposer to propose, suggest; **se —**, plan, intend

proposition *f.* proposition

propre very, own, belonging to; suitable, fitted; natural

proprement properly, strictly

propreté *f.* cleanness

propriétaire *m.* proprietor

propriété *f.* property

propulseur *m.* propeller

propulsif driving

propulsion *f.* propulsion

proscription *f.* rejection

proscrire to outlaw, exile

protéger to protect

proto- *chemical prefix* proto-

prototype *m.* prototype

protoxyde *m.* protoxide

prouver to prove

provenir (de) to come (from), arise (from)

proverbe *m.* proverb; **faire**

passer en —, to make become proverbial

proverbialement proverbially

provision *f.* provision

provoquer to provoke, cause

proximité *f.* proximity, nearness; **à — de** near to

prudence *f.* prudence

public *m. & adj.* public; *see* **voie**

publication *f.* publication

publier to publish

puddlage *m.* puddling

puddler to puddle; *see* **four**

puis then

puiser (dans) to draw (from)

puisque since

puissance *f.* power; *see* **ex-cédent**

puissant powerful

puits *m.* well, shaft; — **foré** drive well, tube well

pulvérulent pulverulent, powdery, powdered

pur pure

pureté *f.* purity

purifier to purify

pylône *m.* tower

Pyrénées *f. pl.* Pyrenees

pyrite *f.* pyrite, iron pyrite

pyruvique pyruvic

Q

quadrangulaire [kwa-] quadrangular

quadrant [kwa-] *m.* quadrant

quadrature [kwa-] *f.* quadrature

quadrillage *m.* grid, checkering

quadrupler [kwa-] to quadruple

quai *m.* quay; platform

qualitatif qualitative

qualité *f.* quality, capacity

quand when; *see importer*
quant (à) as (to), with respect
 (to)

quantitatif quantitative

quantité *f.* quantity, amount

quart *m.* quarter

quartier *m.* quarter

quartz [kwarts] *m.* quartz,
 crystal of quartz; — **piézo-**
électrique piezo-electric con-
 denser

quatre four

quatre-temps *m.* four-cycle en-
 gine

quel what; — **que** whatever;
see importer

quelconque any whatever; **un**
 . . . —, a given . . ., any

quelque some, any; whatever;
 —s a few, several

quelquefois sometimes

question *f.* question

queue *f.* valve stem; tail, tail-
 end; **en** — **d'aronde** dove-
 tailed

quille *f.* keel; *see couloir*

quintupler to increase five-fold

quinzaine *f.* about fifteen

quinze fifteen; *see jour*

quitter to leave, abandon

quoi what; — **que** whatever

quoique although

quotidien *adj.* daily

quotidiennement daily, every
 day

R

raccordement *m.* junction,
 joining

raccorder to join; **se** —, join
 with each other

raccourcir to shorten

raccourcissement *m.* shorten-
 ing

race *f.* race

racler to scrape, wipe

radiation *f.* radiation

radier *m.* invert, floor

radifère radium-bearing, radio-
 active

radioactif radioactive

radioactivité *f.* radioactivity

radiogoniométrie *f.* radiogoni-
 ometry (*the science of de-*
termining the direction from
which a wireless signal comes)

radiophonique *adj.*, radiophone

radiotélégraphie *f.* wireless te-
 legraphy

radiotélégraphique *adj.* wire-
 less, of or pertaining to
 wireless telegraphy

radiotélégraphiste *m.* wireless
 telegrapher, wireless expert,
 radio expert; *adj.* wireless,
 radio

radiotéléphonie *f.* wireless tele-
 phony, radio; *see faire*

radiotéléphonique *adj.* wireless
 telephone, radio

radium [-iəm] *m.* radium

radiumthérapeute *m.* radium
 therapist

raffinage *m.* refining

raffiner to refine

raffinerie *f.* refinery

raffineur *m.* refiner

raid [d sounded] *m.* expedition,
 journey

rail *m.* rail

raison *f.* reason; — **d'être**
 reason for existing; **en** —
de because of; **à** — **de** at
 the rate of; *see avoir*

raisonnement *m.* reasoning
raisonner to reason
ralentir to slow up
rallier to win the approval of
rame *f.* oar
ramener to turn, bring back, reduce
ramollir (se) to soften
rampe *f.* incline, slope, upgrade
rangée *f.* row
ranger to rank, class; **se** —, line up
rapatrier to bring back to one's country
rapide rapid, swift, fast; *see* train
rapidement rapidly, quickly
rapidité *f.* rapidity
rappel *m.* recall, return; *see* ressort
rappeler to recall, bring back; **se** —, to remember
rapport *m.* relation, relationship, ratio; report; **par** — à with respect to
rapporté inlaid, attached, built-up, not in one piece with
rapporter to relate, produce, bring in
rapproché (de) close, near
rapprocher (de) to bring close (to); **se** —, come together; **se** — de approach
rare rare, unusual, infrequent
raréfaction *f.* rarefaction
rarement rarely, seldom
rarissime extremely rare
rassembler (se) to gather, collect
ration *f.* share, portion
rationnel rational

rattacher to connect, attach
ratrapper to recover, take up
rayer to scratch
rayon *m.* radius; ray; —s α α -rays; —s β β -rays; —s γ γ -rays; —s **X** X-rays
rayonnement *m.* radiation
rayonner to radiate
réaction *f.* reaction; *see* turbine
réagir to react
réalisable feasible, attainable
réalisateur *m.* perfecter, inventor
réalisation *f.* realization, accomplishment, making
réaliser to accomplish, make, carry out, realize
réalité *f.* reality
rebuter to discourage
récemment recently
récent recent
récepteur *m.* receiver; — à lampes audion receiver; *adj.* —teur, —trice receiving
réception *f.* reception, receiving, receipt; — à l'oreille receiving by ear; — au Morse receiving by the Morse code
recette *f.* receipt; *see* prendre
recevoir to receive, hold
rechange *m.* spare part; *see* roue
recharge *f.* recharging
recharger to recharge
réchauffer to heat, heat again; **se** —, heat, get hot
recherche *f.* research, investigation, pursuit
rechercher to seek after, inquire into
réceptient *m.* receptacle, container, vessel

réciprocité *f.* reciprocity
réci-pro-que reciprocal, mutual
réci-pro-que-ment conversely, vice versa
ré-cla-mer to seek eagerly
re-com-man-dable recommendable
re-com-man-der to recommend
re-commen-cer to begin again
ré-com-pen-se *f.* reward
ré-con-ci-li-er to reconcile
re-con-nais-sance *f.* reconnaissance, exploration
re-con-naître to recognize, survey, admit, concede; *se — à* to make out [together again]
re-consti-tuer to reconstitute, put
re-consti-tution *f.* reconstitution
re-cord *m.* record; — **mondial** world's record
re-cour-ir to have recourse
re-cours *m.* recourse
re-cou-vrir to cover
re-ctan-gle *m.* rectangle
re-cti-fi-ca-teur, —trice rectifying
re-cti-fi-er to rectify
re-cti-ligne rectilinear
re-cti-tude *f.* rectitude, uprightness
re-cueil *m.* collection
re-cueil-lir to collect, gather
re-cul *m.* recoil, falling back
re-culé remote
re-cu-pé-ra-teur *m.* recuperator, hot-blast stove
re-cu-pé-ra-tion *f.* recuperation, recovery; (*elec.*) regeneration; *see* **freinage**
re-cu-pé-rer to recover; (*elec.*) regenerate
ré-dac-tion *f.* drawing up
re-de-va-ble indebted

re-de-ven-ir to become again
re-dis-til-la-tion [*il not liquid*] *f.* redistillation
re-dis-til-ler [*il not liquid*] to redistill
re-dou-table formidable
re-dou-ter to fear
re-dres-ser to rectify
re-dres-seur *m.* rectifier
ré-duc-teur, —trice reducing
ré-duc-tion *f.* reduction; *see* **élément**
ré-du-ire to reduce; *oblige*
ré-duit small, low, reduced
ré-el real
ré-fec-tion *f.* repair, reconstruction
re-fend *m.* partition; *see* **mur**
ré-flé-chir (*à*) to think (of)
ré-flex-ion *f.* reflection, thought
re-fon-dre to remelt, recast
re-form-er to form again
re-fou-ler to force, drive
ré-frac-taire refractory; *see* **brique, tampon, terre**
ré-frigé-rant *m.* condenser, cooler; *adj.* cooling, refrigerating
ré-frigé-ra-tion *f.* cooling
ré-frigé-rer to cool, chill
re-froidir (*se*) to cool
re-froidis-sement *m.* cooling
re-froidis-seur *m.* radiator
ré-fu-ter to refute
re-gard *m.* glance; peephole, gauge; — **vitré** glass gauge; **en — de** opposite
re-gar-der to look, look at, consider
Regaud, Claudius (1870—)
French physician and biologist
ré-gé-né-ra-teur *m.* regenerator

- régénérer** to regenerate
régie *f.* internal revenue administration
régime *m.* performance, working conditions; rate, normal rate of speed (*whether fast or slow*), rate of charging or discharging (*of a storage battery*); **en** — permanent in a steady state, at constant load, under steady working conditions
région *f.* region, territory, part
régir to govern
registre *m.* damper
réglable adjustable
réglage *m.* regulation, adjustment
règle *f.* rule; **en** — générale as a general rule
règlement *m.* regulation
réglementation *f.* formation or drawing up of a body of regulations
régler to regulate, adjust
règne *m.* reign, kingdom
régner to reign, prevail
régularisation *f.* regularization
régulariser to regulate, regularize
régularité *f.* regularity
régulateur *m.* regulator, governor; — à force centrifuge Watt's governor
régulier regular
reine *f.* queen
rejaillissement *m.* splashing
rejoindre (**se**) to meet again
relâche *f.* call (*of a ship at a port*)
relâcher to release, let go
relais *m.* relay
relais-moteur *m.* relay-motor
relatif relative
relation *f.* relation, connection
relayer to relieve
relever to restore; **se** —, rise again
relief *m.* relief
relier to join, connect
rémanent residual, remanent
remaniement *m.* rehandling, changing, relaying
remarquable remarkable
remarque *f.* remark
remarquer to observe, notice
remède *m.* remedy
remédier (**à**) to remedy, make amends (for)
remettre to put back; hand; — **en marche** start again; — **en service** to put back into service
remonter to go up again, go back, go back over; raise
remorque *f.* pulling
remorquer to pull, draw
remplaçable replaceable
remplacement *m.* replacement, substitution
remplacer to replace
remplir to fill; fulfil
remplissage *m.* filling
Renault [—*lt silent*] a famous French make of automobiles
rencontre *f.* meeting
rencontrer to meet, find
rendement *m.* efficiency, output, performance
rendre to render, make, return, give, give back; **se** —, go; — **compte** give an account; **se** — **compte de** find out, become aware of, realize

- renfermer** to close in, confine, contain
renflement *m.* boss, elevation
renforcer to reinforce
renommé famous
renoncer (à) to give up
renouveler to renew
renseignements *m. pl.* data, information
renseigner to inform
rentrer to go back
renversement *m.* reversal
renverser to overturn, upset; reverse
renvoi *m.* gearing
renvoyer to send back
réorganiser to reorganize
répandre (se) to spread, become common
répandu common
réparation *f.* repair, reparation
réparer to repair
répartir to divide, distribute
répartition *f.* distribution, division
repassage *m.* ironing
repasser to pass back, pass again
répercuter (se) to react, rebound
repérer to mark, fix
répéter to repeat
répétiteur *adj.* repeating; *see* organe
répétition *f.* repetition
replacer to replace, put back
replier (se) to fold up
répondre (à) to answer; satisfy, fill
réponse *f.* answer
reporter to carry, bring back; refer; **se** —, refer
repos *m.* rest; **au** —, at rest; *see* sofa
reposer to rest; depend
repousser to repel, oppose
reprendre to take up again; take back; resume; — **ses droits** come into its own
représentatif representative
représenter to represent; **se** —, to occur; imagine
reproche *m.* reproach
reprocher (à) to find fault (with), blame for
reproduc-teur, **-trice** reproducing
reproduction *f.* reproduction
reproduire to reproduce
république *f.* republic
répulsion *f.* repulsion
réputé reputed
réseau *m.* network, system, line; — **de distribution** distributing system, distributing network; —**x ferrés** railroads, railroad systems
réserve *f.* reserve, reserve supply; *see* **mettre**
réserver (se) to reserve, keep
réservoir *m.* tank, reservoir
résider to reside, consist
résidu *m.* residue, residuum
résiduel residual
résistance *f.* resistance, strength
résistant resisting, resistant, hard; *see* **travail**
résister (à) to resist
résolution *f.* solution
résoudre to solve; resolve, decide; **se** —, decide, make up one's mind
respecter to respect, have respect for, observe

- respectif** respective, corresponding
- respiration** *f.* respiration, breathing
- ressembler** (*à*) to resemble, be like
- resserrer** to hem in
- resservir** to serve again, be used again
- ressort** *m.* spring; — **de rappel** return spring; — **à boudin** spiral spring
- ressource** *f.* resource
- ressuage** *m.* sweating
- reste** *m.* rest, remainder; **du** —, besides, furthermore; *pl.* remains
- rester** to remain
- restituer** to restore, give back
- restituteur** *m.* restorer (*one who determines a point by the intersection of lines of perspective*)
- restitution** *f.* restoration
- restreint** restricted, limited
- résultat** *m.* result
- résulter** to result
- résumé** *m.* résumé, recapitulation; **en** —, to sum up, in short
- résumer** to sum up, recapitulate
- rétablir** to restore, put back; *see* interrompre
- retard** *m.* delay, lateness
- retarda-teur, -trice** retarding
- retarder** to delay, put off
- retenir** to keep, hold
- retentissement** *m.* resounding, reverberation, effect
- retiré** secluded
- retirer** to obtain, withdraw, pull out
- retombée** *f.* springer
- retomber** to fall again, fall back
- retouche** *f.* alteration
- retour** *m.* return, come-back; *see* aller, faire
- retourner** to return; turn over; turn upside down; **se** —, turn around
- retrait** *m.* shrinkage, contraction
- retrancher** to deduct
- retrouver** to find again
- réunion** *f.* union
- réunir** to join, gather, gather together, put together; **se** —, gather, assemble, unite, join together
- réussi** successful
- réussir** to succeed
- revanche** *f.* revenge; **en** —, on the other hand
- rêve** *m.* dream
- réveiller** to awaken
- révélateur** *m.* developer
- révéler** to reveal
- revenir** to come back, amount; — **au même** amount to the same thing
- rêver** to dream
- réverbère** *m.* dome (*of a reverberatory furnace*); *see* four
- réversibilité** *f.* reversibility
- revêtement** *m.* facing, lining
- revêtir** to cover
- revient** *m.* cost; *see* prix
- révision** *f.* inspection
- révolution** *f.* revolution; **la Révolution** French Revolution
- revue** *f.* review; *see* passer

rhéostat *m.* rheostat
Rhône *m.* river rising in Switzerland and flowing south through France to the Mediterranean
richesse *f.* wealth, abundance; richness (*of a mixture*)
rien nothing; *see* **être**
rigide *m.* rigid airship; *adj.* rigid
rigidité *f.* rigidity
rigole *f.* runner, channel, furrow
rigoureusement strictly
rigoureux accurate
rigueur *f.* rigor; *à la* —, if need be
risque *m.* risk
risquer to risk
rivaliser to compete, vie
rive *f.* shore; *see* **poutre**
riverain bordering
rivet *m.* rivet
rivière *f.* river, stream
robinet *m.* valve, cock, stop-cock, tap; — *à pointeau* needle valve; *see* **tube**
robuste robust, strong
robustesse *f.* strength
roche *f.* rock
rocher *m.* rock
roder to grind
rôle *m.* rôle, part played
Romain *m.* Roman; **travail de** —, immense, lasting piece of work
rompre to break
rond round
ronger to eat away, wear
rose pink
rotatif rotary
rotation *f.* rotation, revolution

rotor *m.* rotor
rouage *m.* mechanism, wheels
roue *f.* wheel, runner; — **avant** front wheel; — **à aubes** paddle wheel; — **à chaîne** sprocket; — **dentée** gear wheel, gear; — **en dessous** undershot wheel; — **en dessus** overshot wheel; — **hydraulique** water wheel; — **de rechange** spare wheel; *see* **Pelton**
Rouelle, Guillaume-François (1703-1770) *French chemist*
rouge red; *au* —, at red heat; — **vif** bright red; — **vineux** wine red; *au* — **blanc** at white heat; *see* **mer**
rougeâtre reddish
rougir to make red
rouille *f.* rust
rouiller to rust
roulant easy, easy-running; rolling; moving
rouleau *m.* roller bearing; roller; reel
rouler to roll, ride (*in a vehicle on wheels*)
route *f.* road, way, route, highway; *see* **mettre**
routier *adj.* of roads, road; *see* **voie**
routinier *adj.* routine, hide-bound
royaume *m.* kingdom
royauté *f.* royalty
rubis *m.* ruby, jewel
rude rough, severe
rue *f.* street
Ruhr *f.* basin of the Ruhr, the central part of the Rhineland, rich in coal mines

ruisseau *m.* stream
 rupture *f.* breaking
 rustique simple, plain
Rutherford, Sir Ernest (1871-1937) *professor of chemistry at the University of Cambridge*

S

sable *m.* sand
 sablonneux sandy
 sac *m.* bag
 sacrifier to sacrifice
 sagacité *f.* sagacity, acuteness
 sage *m.* sage, wise man
 Sahara *m.* Sahara desert
 Saïgon *city of Indo-China, capital of French Cochinchina*
 saillant projecting
 saillie *f.* projection
 Saint-Cloud *see porte*
 Sainte-Beuve, Charles-Augustin de (1804-1869) *famous French literary critic*
 Saint-Hilaire, Étienne Geoffroy (1772-1844) *French naturalist*
 Saint-Malo *town in the northwest of France on the gulf of the same name opening into the English Channel*
 saisir to seize, grasp
 saisissant impressive, forceful
 saison *f.* season
 salade d'aubes *f.* breakage of vanes
 saler to salt
 salle *f.* room, hall
 salon *m.* drawing-room; — de l'automobile automobile show

salpêtre *m.* saltpeter, nitrate of potash
 saluer to greet, hail
 sanctuaire *m.* sanctuary
 sanguine *f.* red hematite
 sans without; — que without
 santé *f.* health
 Sarthe *f. department of northern France southwest of Paris*
 satisfaction *f.* satisfaction
 satisfaire (à) to satisfy
 satisfaisant satisfactory
 saturateur *m.* saturator
 saturation *f.* saturation
 sauf except
 saumure *f.* brine
 saupoudrer to sprinkle
 saut *m.* jump, leap; en — de mouton leap-frog, overhead
 sauvegarder to safeguard
 savant *m.* scholar, scientist
 saveur *f.* savor, taste, flavor
 savoir to know, know how, be able; à —, namely
 savon *m.* soap
 sceller to seal, bed, cramp in
 scénario *m.* scenario
 scène *f.* scene, stage
 sceptique sceptical
 schéma [ʃema] *m.* diagram, outline, plan
 schématique diagrammatic
 schiste [ʃist] *m.* schist
 scie *f.* saw; *see trait*
 science *f.* science
 scientifique scientific
 scierie *f.* sawmill
 scorie *f.* slag, scoria
 sec, sèche dry; à —, free of moisture
 sécher to dry
 secondaire minor, secondary

seconde *f.* second; à la —, per second, a second
secours *m.* help
secret *m.* secret
secteur *m.* local supply circuit, distribution main
section *f.* section, cross-section, profile
sectionnement *m.* division
sécurité *f.* safety
séduire to attract, allure
séduisant attractive
segment *m.* segment
seigneur *m.* lord
sein *m.* bosom, midst
Seine-et-Oise a department of France named for the two rivers which traverse it
séjourner to remain
sel *m.* salt; — **de cuisine** kitchen salt, table salt
sélecteur selective
sélection *f.* selection
sélectionner to select, pick out
sélénium [—i-əm] *m.* selenium
selon according to
semaine *f.* week
semblable similar, like, alike
sembler to seem
semence *f.* seed
semi-Diesel: moteur —, semi-Diesel engine (*an oil engine using a lower compression than the Diesel engine, and in which the charge is ignited by the introduction of a hot bulb*)
Sénèque Seneca, Lucius Annaeus (4 B.C.—65 A.D.) Roman philosopher
sens *m.* meaning, sense, direction; **en** — **inverse** in the

reverse order, in a contrary direction; **en** — **inverse des aiguilles d'une montre** counter-clockwise
sensibilité *f.* sensitiveness
sensible sensitive; appreciable, noticeable
sensiblement perceptibly, appreciably, practically
sentiment *m.* sentiment, feeling; **au** —, by judgment, by guess
sentir to feel
séparateur *m.* separator; *adj.* separating
séparation *f.* separation
séparé separate
séparer (se) to separate
Sérapéum Serapeum (*archeological site, ridge, and town on the isthmus of Suez*)
serein serene
série *f.* series
sérieux serious
serpentin *m.* coil
serrage *m.* tightening, shrinkage; tightness
serrer to press close, tighten
service *m.* service, use; department; — **des ponts et chaussées** highway department; *see* **mise, remettre, voie**
servir to serve, be of use, be of service to; — **de** serve as; **se** — **de** use, make use of
servitude (de) *f.* dependence (on)
servo-moteur *m.* servo-motor
sesqui- chemical prefix sesqui-
sesquioxyde *m.* sesquioxide
seuil *m.* ridge

seul only, single, only one,
alone; **à lui** —, **à elle** —
alone, by itself

seulement only

Shanghai important seaport of
China

si if, whether; so; however

Sicile *f.* Sicily (*island in the
Mediterranean, south of and
belonging to Italy*)

siècle *m.* century

siège *m.* seat; siege

signal *m.* signal; — **avancé**
distant signal (*indicates
whether engineman may ex-
pect to find home signal in
a clear position*); **signaux**
horaires time signals;
signaux Morse Morse alpha-
bet

signaler to point out

signaleur *m.* signalman

signe *m.* sign

signer to sign

signification *f.* meaning, im-
port, significance

silence *m.* silence; **sous** —, in
silence

silencieux silent

silex [*x* sounded] *m.* flint

silhouette *f.* outline

silicate *m.* silicate

silice *f.* silica

silicieux siliceous

silicium [*-iəm*] *m.* silicon

similaire similar

similitude *f.* similarity

simple simple, mere; *see* **effet**

simplement simply, merely

simplicité *f.* simplicity

simplification *f.* simplification

simplifier to simplify

simultané simultaneous

simultanément simultaneously

Singapour Singapore (*large city
and important seaport of
English Indo-China*)

singulièrement extraordinarily,
particularly

sinon if not, otherwise

sinueux sinuous, winding

sinuosité *f.* sinuosity, bend

sitôt as soon as, once

situation *f.* position, location

situé situated, located

Sn = **étain**

société *f.* society, company

socle *m.* base, stand

Soddy, Frederick (1877—)
*professor of physical chemis-
try at the University of Ox-
ford*

sodium [*-iəm*] *m.* sodium

sofa *m.* sofa; — **de repos** couch

soi oneself; *see* **chez**

soif *f.* thirst

soigné careful

soigner to give attention to

soigneusement carefully

soi-même oneself

soin *m.* care; *see* **avoir**

soir *m.* evening

soit *see* **être**

soixantaine *f.* about sixty

sol *m.* ground, soil; floor

solaire solar

sole *f.* sole, hearth

soleil *m.* sun

solennité *f.* solemnity

solénoïde *m.* solenoid

solidaire (**de**) solidary, in-
tegral, united as one (*with*)

solide solid

solidement solidly, tightly

- solidifier** (se) to solidify
solidité *f.* solidity
solitaire solitary
solubilité *f.* solubility
solution *f.* solution
solvant *m.* solvent
sombre dark
sommaire summary, brief
somme *f.* sum, total, amount; burden; **en** —, on the whole
sommet *m.* top, height; vertex
son *m.* sound
sonde *f.* sound, probe, sounding
songer (à) to think (of)
sonore *adj.* sound
sorte *f.* kind, sort; **de telle — que** in such a way that; **de — que** so that, with the result that; **en quelque —**, in some way, in a measure
sortie *f.* outlet, mouth, coming out; — **du laitier** slag hole, cinder notch
sortir to go out, come out, come forth, go beyond; **au — de** on coming out of; *see faire*
soubassement *m.* basement
souci *m.* care, concern
Soudan Sudan (*central part of Africa, south of the Sahara*)
soude *f.* soda, caustic soda
souder to solder, fuse, burn, weld, melt together; run together
soudure *f.* soldering, fusing, burning; — **autogène** lead-burning
soufflant blowing; *see machine, poire*
souffle *m.* blast
souffler to blow
soufrage *m.* sulfuring
soufre *m.* sulfur; — **en canons** roll sulfur; — **mou** plastic sulfur; *see fleur*
soufrer to sulfur, sprinkle with sulfur
souhaiter to hope, wish
soulagement *m.* relief
soulager to relieve
soulèvement *m.* rising
soulever to raise
soumettre to submit; subject
soupape *f.* valve; — **à champignon** mushroom valve, lift valve; — **commandée** mechanically controlled valve; — **droite latérale** straight valve on the side; — **de sûreté** safety valve; — **de suppression** safety valve; **le sans — s** sleeve valve engine; *see moteur*
soupçonneux suspicious
souple flexible
souplesse *f.* flexibility, pliability
source *f.* source, spring
sourire to smile
sous under, below, in, at
sous-jacent subjacent, located below
sous-marin *m.* submarine
sous-officier *m.* petty officer
sous-sol *m.* basement; subsoil
sous-station *f.* substation
soustraire to subtract; — **à** remove from
soute *f.* storage can or tank; storeroom
soutenir to keep up, support, maintain
souterrain *m.* subway; underground passage; — **jumeau**

twin tube; *adj.* subter-
 ranean, underground; **en** —,
 underground; *see* **nappe**
soutirer to draw off, rack
souvenir *m.* remembrance
souvent often
spacieux spacious
spécial special
spécialement especially
spécialiser (**se**) to specialize
spécialiste *m.* expert, specialist
spécimen [-ənə] *m.* specimen
spectacle *m.* spectacle
spectateur *m.* spectator
spectre *m.* specter; spectrum;
 — **magnétique** magnetic
 tracing, magnetic curves
spéculatif speculative
spéculation *f.* speculation
sphérique spherical
spirale *f.* spiral
spire *f.* turn
spongieux spongy
squelette *m.* skeleton
stabilisateur *m.* steadying sur-
 face, elevator, stabilizer
stabilité *f.* stability
stade *m.* stage, period
Stahl, G. E. (1660-1734) *Ger-*
man physician and chemist
station *f.* station, plant; —
terminus terminal; —
d'émission **radiophonique**
 broadcasting station
stationnaire stationary
stationnement *m.* stopping,
 halt; *see* **port**
statique static
statistique *f.* statistics
stator *m.* stator
Ste Assise *great transoceanic*
wireless station southeast of

Paris in the department of
Seine-et-Marne
stéréoautographe *m.* stereo-
 autograph
stéréoautographie *f.* stereo-
 autography
stéréoautographique stereoau-
 tographic
stéréocomparateur *m.* stereo-
 comparator
stéréogrammétrie *f.* stereopho-
 togrammetry
stéréogramétrique stereo-
 photogrammetric
stéréoscope *m.* stereoscope
stéréoscopique stereoscopic
stéréotélé-mètre *m.* stereotele-
 meter
stipuler to stipulate
stock *m.* stock
strate *f.* stratum
structure *f.* structure
subir to undergo, experience
subordonner to subordinate
subsister to subsist
substance *f.* substance
substance-mère *f.* mother sub-
 stance
substituer to substitute
substitution *f.* substitution
subtilité *f.* subtlety
succéder (à) to follow, suc-
 ceed; **se** —, follow one after
 the other
succès *m.* success
successif successive
succession *f.* succession
successivement successively,
 in succession
succinctement briefly
succinique succinic
suction *f.* suction

- sucre** *m.* sugar
- sud** *m.* south; **ligne Sud** *one of the branches of the Paris subway on the left bank of the Seine*
- Sud-Algérien** South Algerian
- Suède** *f.* Sweden
- Suez** [*z* sounded] *town on the Red Sea at the southern end of the Suez Canal*
- suffire** to suffice, be enough; **il suffit de** it requires only
- suffisamment** enough, sufficiently
- suffisant** sufficient
- suggérer** to suggest
- suiffer** to tallow
- suinter** to run, ooze out, sweat
- Suisse** *f.* Switzerland
- suite** *f.* series, succession, sequence; what follows; **tout de —**, at once; **par —**, therefore; **par la —**, later; **par — de** as a result of, because of; **de —**, at once; in succession; *see* **ainsi**
- suivant** following; *prep.* according to, following; **— que** according as
- suivre** to follow
- sujet** *m.* subject, matter; **au — de** on the subject of; **à ce —**, in this connection; *adj.* subject
- sujétion** *f.* inconvenience
- sulfatation** *f.* sulfation
- sulfate** *m.* sulfate
- sulfater** to sulfate
- sulphydrique** sulphydric; *see* **acide, gaz**
- sulfite** *m.* sulfite
- sulfure** *m.* sulfide; **— de carbone** carbon disulfide
- sulfuré** sulfurated, sulfurized, sulfur-containing
- sulfureux** sulfurous; *see* **anhydride, gaz**
- sulfurique** sulfuric; *see* **anhydride, gaz**
- superficie** *f.* area
- superficiel** superficial, on the surface
- supérieur** (*à*) higher, greater (than), high, upper, superior
- supériorité** *f.* superiority
- superposable** superposable, coincident
- superposer** to superpose; **se —**, overlap
- superposition** *f.* superposition
- suppléer** to supply; **— à** to make up for
- supplémentaire** supplementary
- supplice** *m.* punishment, torment
- support** *m.* support, base, block; holder, bracket
- supporter** to support, stand, hold
- supposer** to suppose, presuppose
- suppression** *f.* doing away with, suppression
- supprimer** to do away with, suppress, abolish, take away
- sur** on, upon, over, by, out of, to
- sûr** sure, certain, safe
- surabondant** superabundant
- surbaissé** elliptical, surbased
- surcharge** *f.* overload
- surchauffer** to superheat
- surcroît** *m.* increase, surplus

surélevé elevated
surélever to elevate, raise high
sûreté *f.* safety; *see* **soupape**
surface *f.* surface
surprendre to surprise
surpression *f.* overpressure, excess pressure; *see* **soupape**
sursaturer to supersaturate
surtout especially, mainly
surveillance *f.* supervision
surveiller to watch, supervise
susceptible susceptible, capable, fit
susciter to give rise to, stir up
suspendre to hang, suspend, stop
suspendu suspended, hanging
suspens: en —, in suspense
suspension *f.* suspension
sustentation *f.* support, supporting, sustentation, sustaining power
symbole *m.* symbol
symboliser to symbolize
symétrie *f.* symmetry
symétrique symmetrical
sympathie *f.* sympathy
synchrone [ch = k] synchronous; *see* **moteur**
synchronisme [ch = k] *m.* synchronism
synonyme *m.* synonym
synthèse *f.* synthesis
système *m.* system, project, plan, method; — **inducteur** field; **le** — CGS *system of units for the measurement of physical quantity based on the three fundamental units of length, mass and time: centimeter, gram and second*

T

T *see* **fer**
table *f.* table; — **de manœuvre** control table; — **des matières** table of contents
tableau *m.* picture; table; switchboard; — **de distribution** switchboard; — **graphique** diagram
tablier *m.* roadway, floor, superstructure
tache *f.* spot
tâcher to try
tachymètre [ch = k] *m.* tachometer
taille *f.* size, shape; *see* **pierre**
tailler to cut, shape
talc *m.* talc
talent *m.* talent, ability
talus *m.* slope, talus
tambour *m.* drum, roller
tamis *m.* sieve, screen
tampon *m.* plug; — **réfractaire** fire clay plug
tamponner to pack down; dust (*with a powder pad*)
Tananarive Tananarivo (*capital of Madagascar*)
tandis que whereas, while
Tanezrouft *m.* Tanezruft (*low pebbly plain of the French Sahara without vegetation or water*)
tangent tangent
tangente *f.* tangent
tangentielllement tangent, tangentially
tant so, so much; — ... **que** both ... and; — **que** as long as; **en** — **que** as far as
tantôt sometimes

tapis *m.* carpet; belt
 Tarbes *city in the south of France, not far from the Spanish frontier*

tard *late*

tarder *to be long, delay*

tasser *to pile*

tâtonnement *m.* groping

tâtons: à —, gropingly

taureau *m.* bull

taux *m.* rate

technicien [ch = k] *m.* expert, engineer

technique [ch = k] *f.* technique, art, technical skill; *adj.* technical

teindre *to dye*

teinte *f.* tint, hue, color, shade

teinture *f.* solution, dye solution

tel *such, such and such*

télégraphie *f.* telegraphy; — sans fil *wireless telegraphy; see émettre*

télégraphique *adj.* telegraph

télé mécanique *f.* telemechanics (*science of operating a mechanism at a distance by wire or radio*)

télé mètre *m.* telemeter, range-finder

téléphone *m.* telephone

téléphonie *f.* telephony; — sans fil *wireless telephony, radio; see émettre*

téléphonique *telephonic, telephone*

tellement *so, so much*

téméraire *rash*

témoignage *m.* testimony, token, evidence, proof

témoin *m.* witness; *see lampe*

température *f.* temperature

temporaire *temporary*

temps *m.* time, period of time, while; cycle; en même —, at the same time; de — en —, from time to time; de — à autre *from time to time; à —, in time; à deux —, two-cycle; à quatre —, four-cycle*

tenace *tenacious*

ténacité *f.* tenacity

tendance *f.* tendency

tendeur *m.* wire stay

tendre *to hang, stretch; tend; — de noir darken*

tendre *tender, loving; soft*

tendresse *f.* tenderness, love

ténèbres *f. pl.* darkness

teneur *f.* content

tenir *to hold, keep, fasten, take; — compte de pay attention to, take into account, bear in mind; — en équilibre balance; — lieu de take the place of; — à be anxious to; be due to; être tenu de be obliged to*

tension *f.* tension, stretching; voltage; pressure; — de distribution *service voltage; — aux bornes terminal voltage; sous —, on charge*

tenter *to tempt, try*

tenture *f.* curtain

ténu *minute, tenuous*

terme *m.* term, limit; en d'autres —s *in other words; aux —s de by the terms of*

terminaison *f.* ending, suffix

terminer (se) *to terminate, finish, end*

- terminus** [s *sounded*] *m.* terminus, terminal
- terne** dull
- terrain** *m.* ground, terrane, formation; *see* **mouvement**
- terre** *f.* earth, land, world; ground, dirt; — **à foulon** fuller's earth, — **réfractaire** fire clay; **à** —, on land; **en** —, earthen; *see* **armée, charbon, intérieur**
- terrestre** terrestrial, land, of the earth
- Terreur** *f.* Reign of Terror (*in the French Revolution, lasting for about fourteen months to the fall of Robespierre, July, 1794*)
- terreux** earthy
- Tessalit** *oasis of the Ahaggar (Sahara)*
- tête** *f.* head; *see* **coussinet**
- tétra-** chemical prefix tetra-
- tétrachlorure** [ch = k] *m.* tetrachloride
- texture** *f.* texture
- thalweg** [talveg] *m.* thalweg
- thème** *m.* theme, subject
- théorème** *m.* theorem
- théoricien** *m.* theorist
- théorie** *f.* theory
- théorique** theoretical
- thérapeutique** therapeutic
- thermique** *adj.* heat
- thorium** [-i-om] *m.* thorium
- Thovert, J.** *professor of physics in the University of Lyons*
- tiers** *m.* third
- tige** *f.* rod, stem; — **de commande** (du **tiroir**) valve stem; — **du piston** piston rod
- timbre** *m.* tone
- Timsah Timsa** (*lake in lower Egypt*)
- tir** *m.* firing
- tirage** *m.* draft; printing
- tirer** to pull, draw, derive; print; — **parti de** take advantage of
- tiroir** *m.* slide valve; gate; turnout; extension of track; *see* **tige**
- tissu** *m.* fabric
- titre** *m.* title; **au — de as**, on the score of
- titulaire** *m.* holder of a title or grade
- toile** *f.* canvas, linen; — **métallique** wire gauze
- toit** *m.* roof
- toiture** *f.* roofing
- tôle** *f.* sheet iron, sheet (of metal)
- tôlerie** *f.* covering of sheet iron
- tombeau** *m.* tomb
- tomber** to fall
- Tombouctou Timbuktu** (*town in French West Africa*)
- tonnage** *m.* tonnage
- tonne** *f.* metric ton (1000 kilograms)
- tonneau** *m.* cask, barrel
- topographe** *m.* topographer; — **de détail** surveyor
- topographie** *f.* topography
- topographique** topographical
- toron** *m.* strand
- torpédo** *m.* torpedo-shaped body; open car; *adj.* torpedo-shaped; open (of an automobile body)
- torrent** *m.* torrent; **à —s** in torrents

- torsion** *f.* torsion
tort *m.* wrong; à — et à travers at random
total *m. &. adj.* total; au —, in all
totale *ment* totally, entirely
totalité *f.* totality, sum total; en —, entirely
toucher (à) to touch; *m.* touch
Tougourt *commercial city of eastern Algeria*
toujours always, ever; still
tour *m.* turn, revolution, revolution per minute; — de force feat; à son —, à leur —, in turn; — à —, one after another; *see* faire; *f.* tower; la Tour Eiffel Tower
tourbillon *m.* eddy, whirlpool
tourillon *m.* pin; — de la manivelle crank pin
tourisme *m.* touring, automobilizing
tourmenté crooked
tournant rotating, revolving
tourner to turn; turn (*on a lathe*); get around; se —, turn; — la meule turn the millstone, work the treadmill; — à vide idle, run light or without a load
tourne *sol* *m.* litmus
tournevis [*s sounded*] *m.* screw-driver
tourteau *m.* cake, block
tout all, every, any; *adv.* quite; — à fait quite, entirely; — à l'heure in a little while, a little while ago; — de même just the same; *m.* whole, everything; le —, the whole thing
toutefois however
trace *f.* trace, track
tracé *m.* design, line, direction, profile
tracer to trace, outline, draw
traction *f.* traction, pull, effort; en double —, double-headed; *see* effort
traduire to translate, interpret, represent; se —, to be manifested
trafic *m.* trade, intercourse, communication, traffic
train *m.* train; — d'atterrissage landing carriage; — rapide flyer, express train (*faster than a train express*)
trait *m.* dash, line; — de crayon pencil line; — d'union hyphen, bond; — de scie saw-cut
traité *m.* treatise; treaty; *see* Versailles
traitement *m.* treatment
traiter to treat, take up
trajet *m.* path, passage, way, distance
trame *f.* weft, network
tramer to weave
tramway [*tramwē*] *m.* trolley-car
transatlantique *m.* transatlantic liner; *adj.* transatlantic
transfigurer to transfigure
transformateur *m.* transformer
transformation *f.* transformation
transformer to transform
transformisme *m.* transformism
transformiste transformistic

- translucide** translucent
transmetteur *m.* transmitter
transmettre to transmit
transmission *f.* transmission
transparence *f.* transparency
transport *m.* transportation;
(mech. and elec.) trans-
 mission
transporter to bring, carry,
 transport, transmit
transport-eur, -euse convey-
 ing; *see* chaîne
transvaser to transfer (*from*
one vessel to another)
transversal transverse, cross
trapèze *m.* trapezoid
travail *m.* work, effort; —
résistant work necessary to
 overcome a resistance; —
moteur work developed by
 a motor; **travaux** work,
 achievements; **travaux for-**
çés compulsory labor; *see*
 Romain
travailler to work, handle,
 fashion; — **à la meule** rub
 down, make smooth
travée *f.* bay
travers: **à** —, across, through;
see tort
traverse *f.* crossbar, stay; —
du piston piston pin
traversée *f.* passage, crossing;
 — **de voie à niveau** crossing
 on a level; grade crossing
traverser to cross, go through,
 traverse
tréfonds *m.* ground under-
 neath
treillis *m.* trellis, lattice; *see*
 poutre
trémie *f.* hopper
tremper to temper, harden
trépidation *f.* jarring, vibration
très very, very much
trésorerie *f.* treasury
tressaillir to start, thrill
tri- *chemical prefix* tri-
triage *m.* sorting, separating;
see centre, gare
triangle *m.* triangle
tribord *m.* starboard
tribunal *m.* tribunal, court
trichlorure [ch = k] *m.* tri-
 chloride
trichrome [ch = k] *adj.* three-
 color
trichromie [ch = k] *f.* three-
 color photography
Trieste *important Italian port*
at the head of the Adriatic
tringle *m.* rod; — **de ma-**
nœuvre switch bar
triode *f.* triode; *see* lampe
triompher to triumph
triphase three-phase
triple triple, threefold
tripler to triple
Tripoli *capital of region of same*
name in northern Africa
belonging to Italy
Trocadéro *m.* building in
oriental style erected for the
Exposition of 1878 now used
to house a group of muse-
ums
tromper (se) to be mistaken,
 make a mistake
tronc *m.* trunk; — **commun**
 main line
tronçon *m.* piece, section
trône *m.* throne
trop too, too much; **par** —, far
 too

trottoir *m.* sidewalk, walk, footway
trou *m.* hole; — **de coulée** taphole; — **d'homme** man-hole
troupeau *m.* flock, herd
trouver to find; **se** —, to be; *see impossibilité*
T.S.F. = **télégraphie sans fil** or **téléphonie sans fil**
tube *m.* tube, pipe; — **à vide** vacuum tube; — **en U** U-tube; — **à robinet** pipe with a stopcock
tubulaire tubular
tubulure *f.* neck, pipe
tuer to kill
tuile *f.* tile
tumeur *f.* tumor
tumultueux tumultuous, turbulent
turbine *f.* turbine; — **à action** impulse turbine; — **à air**, — **aérienne** air turbine; — **d'impulsion** impulse turbine; — **limite** limit turbine; — **à réaction** reaction turbine; — **parallèle** **centripète** mixed-flow turbine
turbo-alternateur *m.* turbo-alternator
Turc *m.* Turk
Turgot, Anne-Robert-Jacques (1727-1781) *minister of finances under Louis XVI*
tuyau *m.* pipe; — **d'aspiration** suction tube, draft tube
tuyauterie *f.* piping, manifold
tuyère *f.* tuyere, twyer
type *m.* type, style; *adj.* typical
typique typical

U

U: en forme d'—, U-shaped; *see tube*
ultérieur subsequent
ultérieurement later, subsequently
unanime unanimous
unicellulaire unicellular
uniforme uniform
uniformément uniformly
uniformité *f.* uniformity
union *f.* union; *see trait*
unique single, standing alone, only; unequalled
uniquement only, solely
unir (s') to unite, combine
unitaire *adj.* of a unit, per unit, unitary
unité *f.* unit, unity
univers *m.* universe
universalité *f.* whole, generality
universel universal
université *f.* university
uranium [-izm] *m.* uranium
urbain urban, city
ure *chemical suffix* -ide
usage *m.* custom, use, usage, habit
user to wear out; — **de use**, make use of
usinage *m.* machining
usine *f.* factory, works, plant; — **centrale** power station; — **hydraulique** water power plant; — **marémotrice** tide-motor power plant
usité used, in use
usuel usual, common
usure *f.* wear, wear and tear
utile useful; *see force*

utilisation *f.* use, using, utilization

utiliser to use, make use of

utilité *f.* usefulness, value;
sans —, unnecessarily

V

V: en —, V-shaped

va-et-vient *m.* backward and forward motion, up and down motion; *see* **mouvement**

vague *f.* wave, billow

vaincre to overcome

vainement vainly, in vain

vaisseau *m.* vessel, ship

valable valid

valeur *f.* value, worth, ability; amount; quality; **en** — **absolue** in exact figures

vallée *f.* valley

valoir to be worth, be equal to; procure, avail

valve *f.* valve

vannage *m.* regulation (*of flow in a turbine*); valves, sluice gates

vapeur *f.* steam, vapor, fume; — **d'eau** water vapor, steam; *see* **boîte**, **convertisseur**, **machine**

vaporisation *f.* vaporization

vaporiser (se) to vaporize

variabilité *f.* variability

variation *f.* variation

varier to vary, change

variété *f.* variety

vase *m.* vessel

vaseline *f.* vaseline

vaste vast, immense

végétal *m.* vegetable; plant;
adj. vegetable

végétation *f.* vegetation

véhicule *m.* vehicle

veille *f.* night work; lookout, watch

veiller to watch; — **à** see to

veine *f.* vein; — **liquide** stream, jet

vendre to sell

venir to come; — **de** have just; — **à** happen to; — **au contact** come in contact; — **de fonte** be cast in one piece; — **en prise** engage, mesh, be caught

vent *m.* wind; *see* **lit**

vente *f.* sale

ventilateur *m.* fan

ventilation *f.* ventilation; **à** — **forcée** with forced ventilation

ventiler to ventilate

verdâtre greenish

vérification *f.* testing, checking, check

vérifier to verify, check up, prove

vérin *m.* screw jack

véritable real

vérité *f.* truth

vernis *m.* varnish

verre *m.* glass; — **à vitre** window glass, pane of glass; *see* **positive**

verrou *m.* switch-lock

verrouiller to lock

vers towards, about

Versailles *city, famous in modern history, located a few miles southwest of Paris; traité de* —, *treaty between the Allies, the United States*

- and Germany signed, June, 1919*
verser to pour
vert green
vertèbre *f.* vertebra; *see animal*
vertu *f.* virtue
vêtement *m.* clothing
viaduc *m.* viaduct
vibration *f.* vibration
vibrer to vibrate; *see membrane*
vice-roi *m.* viceroy
vicomte *m.* viscount
Victoria (1819-1901) *Queen of England from 1837 to 1901*
vide *m.* open space, vacuum; *adj.* empty, vacant, free, open; — **d'air** exhausted; *see espace, lampe, pompe, tourner, tube*
vider to empty
vie *f.* life
vieux, vieil, vieille old
vif, vive lively, brilliant, intense, strong; *see chaud, force*
vigne *f.* vine, grapevine
vilebrequin *m.* crank shaft
villa *f.* bungalow, country home
village *m.* village
ville *f.* town, city
Villeneuve-sur-Lot *manufacturing town southeast of Bordeaux*
vin *m.* wine
Vincennes *see porte*
vineux vinous; *see rouge*
vingtaine *f.* about twenty
violemment violently
violence *f.* violence
virgule *f.* comma
virtuel virtual
vis-à-vis de opposite, facing; over against; with respect to
viscosité *f.* viscosity
viser to aim at
visiblement manifestly, obviously
visite *f.* examination, inspection, search, visit
visiter to visit
visqueux viscous
visser to screw
vite quickly, fast
vitesse *f.* speed, velocity; **grande** —, high speed; *see boîte*
vitrage *m.* panes of glass
vitre *f.* pane of glass; *see verre*
vitré *adj.* glass; *see lanterne, regard*
vitreux vitreous, glassy
vivant living
vivement forcibly, intensely
vivifier to vivify, enliven
vivre to live
vocal vocal, of the voice
vocation *f.* vocation, calling
vogue *f.* vogue; **de** —, up to date
voici here is, here are; ago
voie *f.* road, way, path, track, highway; — **Appienne** Appian Way (*highway built by Appius Claudius from Rome to Brindisi, B.C. 312*); — **charretière** wagon road; **à deux** —s double track; — **étroite** narrow gauge; — **ferrée** track, railway; — **libre** right of way, clear; — **normale** standard gauge; — **pleine** open track; — **pu-**

blique thoroughfare, street;
— routière public road; —
de service feeding track;
see *appareil*, *traversée*

voilier flying

voilure *f.* aerofoil, flying surface

voir to see

voire even; — même even

voisin neighboring; — de near, near to, bordering on

voisinage *m.* vicinity

voisiner (avec) to be near

voiture *f.* carriage, car, coach; automobile; — automobile automobile

voiturette *f.* small, light automobile, runabout

voix *f.* voice; à — basse in a low tone

vol *m.* flight, flying; — plané volplane, glide

volant *m.* flywheel; steering wheel; reserve supply

volatil volatile

volatiliser (se) to volatilize

volatilité *f.* volatility

volcan *m.* volcano

volcanique volcanic

voler to fly

volontaire voluntary

volonté *f.* will; à —, at will

volontiers willingly, gladly; usually; naturally

volt [t sounded] *m.* volt

voltage *m.* voltage

voltaïque voltaic, galvanic

voltmètre *m.* voltmeter

volume *m.* volume

volumineux large, voluminous

vouer to consecrate, destine

vouloir to wish; *m.* will; mauvais —, ill-will

voussoir *m.* voussoir, arch-stone

voûte *f.* vault, arch

voûtelette *f.* small vault

voûter to vault, arch

voyage *m.* voyage

voyager to travel

voyageur *m.* passenger

vrai true, real; *see* *dire*

vraiment really, truly

vue *f.* sight, view, inspection;

— en bout end view; dans

cette —, with this object in

view; en — de with the

object of; *see* *perdre*, *perte*,

prise

vulcanisation *f.* vulcanization

vulcaniser to vulcanize

vulgarisation *f.* popularization

vulnérable vulnerable

W - Z

wagon *m.* car

wagon-citerne *m.* tank car

wagon-lit *m.* sleeper, sleeping-car

wagonnet *m.* little car

Watt, James (1736-1819)

Scotchman, inventor of the steam engine; *see* *pendule*

watt [wat] *m.* watt

watt-heure *m.* watt hour

wattman [watman] *m.* motor-man

Westinghouse, George [vestē-guz] (1846-1914) American inventor and manufacturer

WGY radio call letter of Schenectady, broadcasting station

of the General Electric Company at Schenectady, N. Y.

Wilde *see* **prix**

willémité *f.* willemite

Wollaston, William Hyde
(1766-1828) *English physicist, chemist and physiologist*

X *see* **rayon**

y there; to it, to them, in it,
in them, at it, at them; il

— **a** there is (are); ago;
il — **a lieu** there is reason to

Zeppelin, Count Ferdinand
(1838-1917) *German aeronautical expert and inventor of the type of dirigible which bears his name*

zeppelin *m.* zeppelin

zéro *m.* zero

zinc *m.* zinc

zone *f.* zone

zoologique zoological

